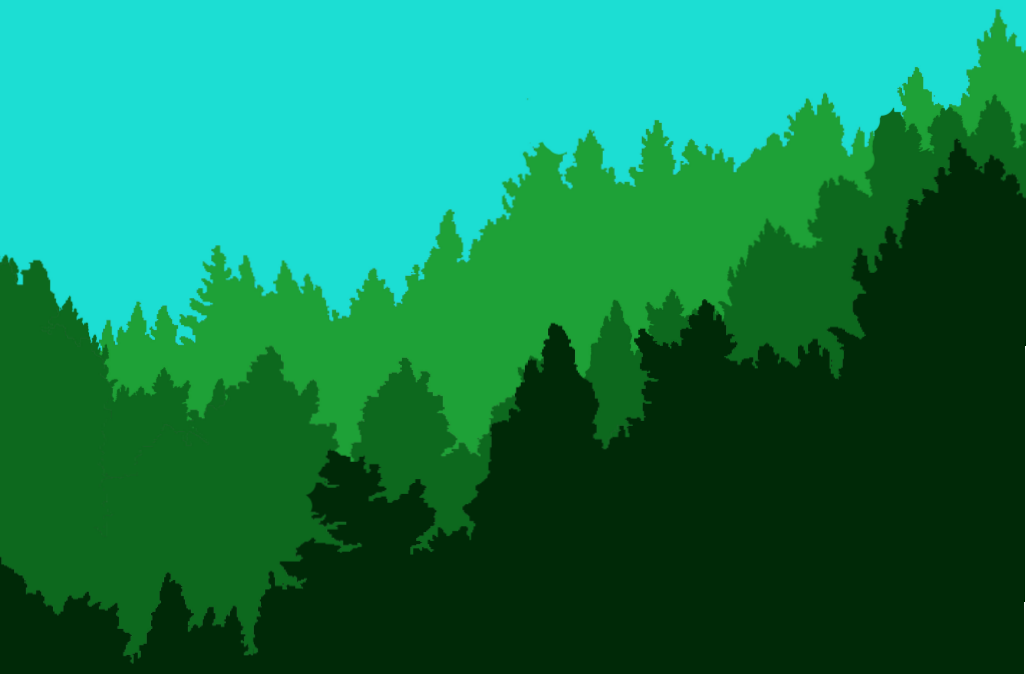
Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски



Красноярск 2019

СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

CONFERENCE SPONSORS

International Institute for Applied Systems Analysis
IIASA www.iiasa.ac.at

Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности

ЛАБ Инструментс

LI-COR®

i проект



ООО «Красноярский городской центр озеленения»

Союз лесопромышленников Красноярского края

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL STATE BUDGET SCIENTIFIC INSTITUTION, FEDERAL RESEARCH CENTER
«KRASNOYARSK SCIENCE CENTER OF THE SIBERIAN BRANCH
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES»

V.N. SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST FRC KSC SB RAS

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES SCIENTIFIC COUNCIL ON FOREST PROBLEMS

CENTER OF FOREST ECOLOGY AND PRODUCTIVITY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS

INTERNATIONAL BOREAL FOREST RESEARCH ASSOCIATION

FOREST ECOSYSTEMS OF BOREAL ZONE: BIODIVERSITY, BIOECONOMY, ECOLOGICAL RISKS

Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation
Krasnoyarsk, August 26–31, 2019

Krasnoyarsk, 2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ
ФИЦ КНЦ СО РАН

НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ ЛЕСА

ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ: БИОРАЗНООБРАЗИЕ, БИОЭКОНОМИКА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

Материалы Всероссийской конференции с международным участием
Красноярск, 26–31 августа 2019 г.

Красноярск, 2019

Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Красноярск, 26–31 августа 2019 г. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. – 558 с.

В материалах Всероссийской конференция с международным участием, посвященной 75-летию Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, представлены результаты исследований лесных экосистем бореальной зоны в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов по основным направлениям: биоразнообразие и биосферная роль лесных экосистем; динамика и мониторинг лесных экосистем; антропогенные и природные риски уязвимости лесных экосистем; селекционно-генетические и геномные исследования бореальных лесов; биотехнология и глубокая переработка лесных продуктов; лесные ресурсы и лесоуправление.
Для сотрудников исследовательских учреждений, преподавателей, работников лесного хозяйства, аспирантов и студентов.

Forest Ecosystems of Boreal Zone: Biodiversity, Bioeconomy, Ecological Risks. Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation. Krasnoyarsk, August 26–31, 2019. Krasnoyarsk: IF SB RAS, 2019. – 558 p.

The proceedings of the All-Russian conference with international participation, dedicated to the 75th anniversary of the V.N. Sukachev Institute of Forest, FRC KSC SB RAS, present the results of studies of forest ecosystems of the boreal zone in forest protection, conservation and reproduction of the main areas: biodiversity and biospheric role of forest ecosystems; dynamics and monitoring of forest ecosystems; anthropogenic and natural risks of vulnerability of forest ecosystems; selection and genetic and genomic studies of boreal forests, biotechnology and deep processing of forest products, forest resources and forest management.
For employees of research institutions, teachers, forestry workers, graduate students and students.

Печатается по решению оргкомитета конференции
Материалы публикуются в авторской редакции

Ответственный редактор Пименов А.В.

Мероприятие проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках проекта «Всероссийская конференция с международным участием «Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски», № 19-44-241001»

и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 07-02-2019-4172 от 30.05.2019

ISBN 978-5-906740-19-9

© Коллектив авторов, 2019
© ИЛ СО РАН (дизайн обложки и оригинал-макет), 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Агеев Б.Г., Сапожникова В.А., Груздев А.Н., Головацкая Е.А., Дюкарев Е.А., Савчук Д.А. Сравнение характеристик остаточных газов в годичных кольцах стволов сосны за последние 50 лет ……... 14
Антонов Г.И., Пашенова Н.В., Кондакова О.Э., Барченков А.П. Использование технологии микокомпостирования древесных отходов лесопереработки для приготовления удобрительных субстратов……... 17
Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Белан Б.Д. Роль атмосферного блокирования как фактора возникновения экстремальных природных пожаров в Сибири и на Дальнем Востоке……. 20
Асанов С.К., Нурманбет Арстанбек Уулу. Влияние рубки на еловые леса внутреннего Тянь-Шаня…….. 23
Афанасьева Л.В. Лиственница сибирская как биоиндикатор загрязнения атмосферного воздуха……. 28
Баранчиков Ю.Н., Авраменко Г.А. Почковая галлица *Dasineura rozhkovi* Mam. Et Nik. в городских посадках лиственниц…….. 31
Барталев С.А. Космическая научная обсерватория углерода лесов России: концепция и первые результаты проекта…….. 34
Беланов И.П., Савенков О.А., Шеремет Н.В., Наумова Н.Б. Почвенный покров и его свойства в регенерационных экосистемах постиндустриальных ландшафтов золоотвалов…….. 36
Бикиров Ш.Б., Бикирова А.Ш., Уметалиевна Н.К., Ашырова Б.Б. Зеленые насаждения Прииссыккулья и отбор перспективных растений для озеленения….. 39
Бикиров Ш.Б., Жумагул Кызы Ы. Биоразнообразие орехово-плодовых лесов Западного Тянь-Шаня……. 43
Бикиров Ш.Б., Калыкова Г.Н. Биоразнообразие хвойных лесов Западного Тянь-Шаня…….. 46
Бикиров Ш.Б., Нуркасымова Э.А. Павловния войлочная в Кыргызстане и перспективы ее разведения…… 49
Бобкова К.С., Кузнецов М.А., Осипов А.Ф., Тужилкина В.В. Пулы и потоки углерода в лесных экосистемах Европейского Северо-Востока России…… 51
Бондаренко С.Л., Устинова И.Г. Отклики растительности на изменения уф-в радиации и климата от умеренного до арктического…….. 54
Бочарников М.В. Биоклимат как фактор формирования фитоценотического разнообразия горнотаежных лесов Станового нагорья……... 57
Брюханов А.В., Иванов В.А. Оценка эффективности наземных самоходных агрегатов, пригодных для тушения лесных пожаров……... 60
Буренина Т.А., Прысов Д.А., Мусохранова А.В. Динамика стока рек в горах Западного Саяна в условиях интенсивного лесопользования и меняющегося климата……. 63
Быкова-Сашко Е.В., Голубев Д.В., Кнорре А.А., Исаева И.Л. Дешифрирование лесных насаждений, поврежденных стволовыми вредителями, на примере территорий заповедников «Хакасский» и «Столбы» с применением материалов космической съемки и ГИС-технологий……... 66
Быстров С.О., Морозова Т.И., Воронин В.И., Осколков В.А. Инвазия уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandford в темнохвойную тайгу Южного Прибайкалья (хребет Хамар-Дабан)…….. 70
Валендик Э.Н., Иванова Г.А., Кисиляхов Е.К. Проблема природных пожаров в России и пути ее решения……... 73

Вараксин Г.С. Рост и продуктивность сосновых и лиственничных культур в Средней Сибири……... 76
Волокитина А.В. Учет особенностей природы лесных пожаров при управлении ими……. 79
Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу……. 82
Габрид Н.В., Кулиев А.С., Мосолова С.М. Пойменные леса Кочкорского лесничества и некоторые факторы, влияющие на их стабильность……... 85
Гавриков В.Л. Связи между связями: должен ли лес следовать нашим моделям?... 88
Голюков А.С., Им С.Т., Харук В.И. Спутниковая гравиметрия в анализе связи усыхания темнохвойных с аномалиями влажности почвы……. 91
Гончиков Б.-М.Н., Базаров А.В., Мангатаев А.Ц., Гончиков Ж.Б-М., Сычев Р.С. Использование автоматической системы мониторинга лесолуговых экосистем в Западном Забайкалье……... 94
Горичев Ю.П., Давыдычев А.Н., Юсупов И.Р., Кулагин А.Ю. Лесообразовательный процесс с участием темнохвойных пород на западном склоне Южного Урала……. 98
Горнов А.В., Горнова М.В., Тихонова Е.В., Шевченко Н.Е., Кузнецова А.И., Тебенькова Д.Н., Лукина Н.В. Популяционный подход к оценке сукцессионного статуса хвойно-широколиственных лесов европейской части России…….. 101
Гродницкая И.Д., Трусова М.Ю. Особенности микробных сообществ гидроморфных почв тундровой и лесной зон Сибири……. 105
Громова М.С., Матвиенко А.И., Меняйло О.В. Влияние некоторых внешних факторов на температурную чувствительность минерализации углерода в почвах 108
Демидко Д.А. Методика реконструкции истории массовых размножений филлофагов осенней фенологической группы…….. 110
Евграфова С.Ю., Кадуцкий В.К., Метелева М.К., Гуггенбергер Г., Вагнер Д. Оценка эмиссии парниковых газов (CO_2, CH_4) из захороненного органического вещества в полевом инкубационном эксперименте……. 114
Евдокименко М.Д., Петренко А.Е. Особенности растительных пожаров в Забайкалье…… 117
Евдокименко М.Д., Петренко А.Е. Пирогенные трансформации лесных экосистем в Прибайкалье…… 120
Жила С.В., Иванова Г.А., Кукавская Е.А. Оценка послепожарного возобновления в светлохвойных насаждениях Нижнего Приангарья…….. 123
Загирова С.В., Михайлов О.А. Обмен диоксида углерода и влаги в лесных экосистемах таежной зоны в теплый период года…… 126
Зиганшин Р.А., Смолин С.В. Экологическая катастрофа в прибайкальской популяции кедра сибирского…….. 129
Зырянова О.А., Прокушкин С.Г., Зырянов В.И., Мацуура Ю., Морисита Т. Функциональная роль структурного разнообразия северотаежных лиственничников Средней Сибири…… 133
Иванов В.А., Пономарев Е.И., Аминев П.И. Оценка риска возникновения лесных пожаров от гроз на территории Сибири…… 136
Иванов Д.Г., Курбатова Ю.А. Сезонная динамика эмиссии CO_2 в заболоченных лесах европейской части России…… 139
Иванова Г.А., Конард С.Г., Ковалева Н.М., Кукавская Е.А., Фридрих И.Е. Мониторинг последствий высокоинтенсивных пожаров в сосняках Средней Сибири…….. 142

Иванова Ю.Д., Суховольский В.Г. Модели роста лесных насаждений с учетом влияния рубок ухода…… 145
Иванченко Л.И. Трансформация почвенного покрова при нарушении режима в Ак-Суйском регионе…… 147
Им С.Т., Харук В.И., Ли В.Г. Миграция северной границы хвойных в Сибири в XXI столетии…… 150
Казанцева М.Н. Биологическое разнообразие растительного покрова рекреационных сосняков в зеленой зоне г. Тюмени…… 153
Калугина О.В., Михайлова Т.А., Шергина О.В. Изменение содержания компонентов биохимической защиты в хвое *Pinus sylvestris* L. при возрастании техногенной химической нагрузки…… 156
Карбышева К.С., Вайшля О.Б. Эколого-трофическая специализация эктомикориз *Pinus sibirica* Du Tour в биотопах южной тайги Томской области…… 159
Карелина В.С., Власова А.Д., Орлов А.В. Вторые гумусовые горизонты дерново-подзолистых почв как этап пирогенной трансформации Приобских боров Алтайского края……... 162
Качаев А.В. О выборе переменных в логистических регрессионных моделях усыхания деревьев……... 165
Кириченко Н.И. Современные интегративные подходы к диагностике и изучению истории инвазий минирующих насекомых – вредителей древесных растений в Сибири……... 168
Кладько Ю.В., Бенькова В.Е., Скрипальщикова Л.Н., Ташев А.Н. Скорость роста по диаметру стволов древесных растений в зеленых насаждениях г. Красноярска. 171
Князева С.Г., Хантемирова Е.В. Внутривидовой полиморфизм природных популяций можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.)…… 175
Ковалевич А.И., Усеня В.В. Массовое усыхание хвойных лесов в Республике Беларусь: состояние, проблемы и пути решения…….. 178
Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г., Луценко Т.Н., Лупаков С.Ю., Шамов В.В. Влияние влажных атмосферных выпадений на гидрохимический сток рек залесенных бассейнов Сихотэ-Алинской горной области…….. 181
Колмогорова Е.Ю. Морфофизиологическая оценка состояния сосны обыкновенной, произрастающей в различных экологических условиях породного отвала…… 184
Кондакова О.Э., Гродницкая И.Д., Ломовский О.И. Микроорганизмы и фитопрепараты как агенты биоремедиации деградированных почв…….. 187
Коновалова А.Е., Пименов А.В., Кофман Г.Б., Коновалова М.Е. Сопряженность структуры ценопопуляций сосны обыкновенной по окраске микростробилов с условиями местопроизрастания……. 190
Корец М.А., Прокушкин А.С. Пространственно-временная динамика температур воздуха и количества осадков на основе данных Climatic Research Unit (Cru Ts V. 3.22) за период 1931–2010 для территории ключевых притоков р. Енисей……... 193
Коротков В.Н. Выбросы парниковых газов и черного углерода от природных пожаров в России…… 196
Коротков В.Н., Шилов Д.С., Сибгатуллин Р.З., Смирнова О.В., Гераськина А.П. Уникальный хвойно-широколиственный лес с преобладанием *Tilia cordata* и *Ulmus glabra* в охранной зоне Висимского заповедника (Свердловская область)… 198
Котлов И.П., Черненькова Т.В., Беляева Н.Г., Пузаченко М.Ю., Морозова О.В. Ландшафтно-экологические метрики растительного покрова Московской области…….. 200

Кошкаров А.Д., Кошкарова В.Л. Морфологические особенности женских генеративных органов некоторых видов хвойных как надежные признаки видовой диагностики их ископаемых аналогов при реконструкции динамики климатических трендов……... 203
Кошкаров А.Д., Кошкарова В.Л. Многовековая динамика биоразнообразия лесных экосистем юго-восточной части Эвенкии…… 206
Красноперова П.А., Тарасова О.В. Пространственно-временная сопряженность дефолиации лесов в очагах массового размножения непарного шелкопряда…….. 209
Кренке А.Н., Пузаченко М.Ю. Теоретико-методологическое обоснование границ и целостности в лесном покрове на основе пространственных инвариант……... 211
Кривец С.А., Бисирова Э.М., Дебков Н.М., Керчев И.А. Организация и результаты мониторинга состояния пихты сибирской в зоне инвазии уссурийского полиграфа в Томской области…… 214
Кривобоков Л.В., Тубанова Д.Я., Зверев А.А., Сергеева О.В., Мухортова Л.В. Таксономический состав и активность эпигейных бриофитов в растительном покрове подзоны северной тайги Средней Сибири (среднее течение р. Нижняя Тунгуска)…….. 217
Кузнецова Г.В. Оценка роста и семеношения клонов кедровых сосен в Красноярской лесостепи…… 220
Кузнецова И.А., Мухина Н.С. Мониторинг особо охраняемых природных территорий Свердловской области…… 223
Кузьмин С.Р. Особенности ассимиляционного аппарата и древесины у сосны обыкновенной с разной устойчивостью к грибным патогенам…….. 227
Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р. Уточнение лесосеменного районирования сосны обыкновенной на территории Сибири…….. 230
Кулиев А.С., Ражапбаев М.К., Абдилабек Уулу Э. Регенерационная способность зеленых черенков облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) в условиях Чуйской долины…….. 233
Кульбанская И.Н., Гойчук А.Ф. Туберкулез ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) в насаждениях подолья Украины…….. 237
Курбатова Ю.А., Варлагин А.В., Мамкин В.В., Авилов В.К., Иванов Д.Г. Мониторинг экосистемных потоков тепла, влаги и CO_2 в южнотаежных экосистемах европейской части РФ……... 241
Кутявин И.Н., Манов А.В. Горизонтальная структура коренных сосновых древостоев средней тайги (Республика Коми)…….. 243
Лебедева Л.С., Ефремов В.С. Водный баланс различных стокоформирующих комплексов в бассейне Малой реки в Центральной Якутии……... 246
Лукина Н.В., Горнов А.В., Тихонова Е.В., Шевченко Н.Е., Кузнецова А.И., Тебенькова Д.Н., Данилова М.А., Гераськина А.П., Смирнов В.Э., Горнова М.В., Бахмет О.Н., Крышень А.М., Катаев А.Д. Аккумуляция углерода в почвах на разных стадиях сукцессий лесов…… 249
Луценко Т.Н., Болдескул А.Г., Кожевникова Н.К., Шамов В.В., Губарева Т.С., Лупаков С.Ю. Динамика выноса органического углерода в горно-лесных бассейнах Южного Сихотэ-Алиня (Дальний Восток России)…… 254
Лябзина С.Н., Чалкин А.А., Синкевич О.В. Изучение лесных карантинных видов насекомых с помощью феромонных ловушек в ООПТ Республики Карелия…….. 257
Максимов Т.Х., Долман А.Й., Ота Т., Сугимото А., Максимов А.П., Петров Р.Е. Мерзлотные лесные экосистемы северо-востока России в изменяющемся климате…….. 260

Мамкин В.В., Авилов В. К., Варлагин А.В., Ольчев А.В., Курбатова Ю.А. Потоки тепла, влаги и CO_2 на сплошной вырубке в европейской южной тайге: результаты 3-летнего мониторинга методом турбулентных пульсаций…… 263
Махнева С.Г. Качество пыльцы сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения среды выбросами медеплавильного производства……. 266
Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Верховец С.В., Кошурникова Н.Н., Полосухина Д.А., Ваганов Е.А. Сезонная динамика почвенной эмиссии: основные контролирующие факторы для средней тайги Центральной Сибири….. 269
Машуков Д.А., Бенькова В.Е., Шашкин А.В. Радиальный прирост и ксилотомическая структура на разной высоте ствола деревьев лиственницы на многолетнемерзлых почвах как индикаторы водного дефицита…… 272
Медведева М.А., Гульбе А.Я., Гульбе Я.И., Маслов А.А., Сирин А.А. Оценка зарастания лесом неиспользуемых сельскохозяйственных земель по спутниковым и наземным данным……. 275
Меняйло О.В., Малышева О.Е., Матвиенко А.И., Громова М.С. Влияние разных экологических факторов на минерализацию и прайминг органического вещества почв……... 278
Милютин Л.И. Генетико-селекционные исследования Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН: достижения и перспективы……... 281
Морозова Т.И. Определение повреждений насаждений в Байкальской Сибири….. 284
Муратова Е.Н., Седельникова Т.С., Горячкина О.В., Пименов А.В., Бажина Е.В., Седаева М.И. Кариологические и цитогенетические исследования хвойных в природных популяциях и в условиях интродукции……. 287
Мухортова Л.В., Евграфова С.Ю., Метелева М.К., Кривобоков Л.В. Эмиссия CO_2 и CH_4 от разложения крупных древесных остатков в лесных экосистемах северной тайги Средней Сибири…… 290
Назимова Д.И., Коновалова Т.И. Ландшафтно-экологический подход в задачах многоцелевого природопользования и прогноза в горных лесных экосистемах юга Сибири……... 293
Наквасина Е.Н., Голубева Л.В., Минин Н.С., Прожерина Н.А. Постагрогенные леса: рост, продуктивность, качество древесины……. 296
Немеров А.М., Трефилова О.В. Подвижность фторидов в лесных почвах пригородной зоны…… 299
Овчинников Д.В. Изменения оптической плотности (Blue Intensity) годичных колец лиственницы и современные климатические тренды на Алтае……... 301
Овчинникова Н.Ф. Влияние рельефа на динамику густоты и рост древостоя на постоянной пробной площади…… 304
Онучин А.А. Стратегические задачи перехода к устойчивому управлению лесами в Сибири……... 307
Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю., Елсукова Е.Ю. Биогеохимические критерии оценки риска загрязнения лесных экосистем Костомукшского государственного заповедника……. 310
Оргогозо Л., Прокушкин А.С., Покровский О.С., Грене К., Кинтар М., Вирс Ж., Одри С. Моделирование теплопередачи и гидрологического переноса в водосборном бассейне ручья Кулингдакан……... 313
Орешкова Н.В., Бондар Е.И., Колесникова А.И., Акулова В.С., Бирюков В.В., Новикова С.В., Путинцева Ю.А., Шаров В. В., Кузьмин Д.А., Феранчук С.И., Симонов Е.П., Садовский М.Г., Литовка Ю.А., Павлов И.Н., Крутовский К. В. Геномные исследования хвойных Сибири и их основных фитопатогенов……... 316

Панов А.В., Прокушкин А.С., Корец М.А., Сиденко Н.В., Зражевская Г.К., Бондарь М.Г., Корниенко И.Н., Кюблер К., Лаврич Й.В., Хайманн М. Оценка приземного содержания диоксида углерода и метана над экосистемами арктической тундры в эстуарной зоне р. Енисей…….. 320
Пашенова Н.В., Перцовая А.А., Баранчиков Ю.Н. Особенности работы с культурами возбудителя усыхания ясеня – гриба *Hymenoscyphus fraxineus*……. 324
Петренко Т.Я., Ухваткина О.Н., Омелько А.М., Жмеренецкий А.А. История естественных нарушений древостоя в малонарушенных кедрово-широколиственных лесах на юге Дальнего Востока России…….. 327
Петров И.А., Шушпанов А.С., Голюков А.С., Харук В.И. Воздействие изменений климата на радиальный прирост и продвижение *Pinus sibirica* Du Tour в горах Кузнецкого Алатау…….. 330
Петрунина Е.А., Миронов П.В., Пляшечник М.А. Физико-химические свойства и использование гидродинамически активированной древесины……. 333
Полосухина Д. А., Прокушкин А. С., Масягина О.В. Фотоассимиляция углерода мохово-лишайниковым покровом сосновых биогеоценозов зоны охвата станции высотной мачты Zotto…….. 336
Полякова Г.Г., Пашенова Н.В., Сенашева В.А., Подоляк Н.М. Многолетний мониторинг пригородных сосняков Красноярска как индикаторов токсичности промвыбросов…….. 339
Полянская Д.Ю., Гончарова Н.В. Сосново-мелколиственная формация заповедника «Столбы» под воздействием низовых пожаров……. 342
Пономарев Е.И., Швецов Е.Г., Пономарева Т.В., Харук В.И. Данные спутникового мониторинга пожаров в прогнозировании прямых пожарных эмиссий……. 346
Пономарева Т.В., Бикмурзина А.А. Температурные градиенты в техногенных почвах на отвалах вскрышных пород…… 349
Попкова М.И., Тычков И.И., Шишов В.В. Моделирование внутригодовой клеточной анатомии хвойных деревьев Сибири…….. 353
Прожерина Н.А., Наквасина Е.Н., Демина Н.А. Экологическая пластичность различных происхождений ели при выращивании на Европейском Севере России 356
Прокушкин А.С., Токарева И.В., Панов А.В., Колосов Р.А., Корец М.А., Солнышкин И.А., Эймон Р., Карлссон Я. Трансформация растворенного терригенного углерода в гидрографической сети (континуум почвенный раствор – конечный водоем стока)……... 359
Прокушкин С.Г., Зырянова О.А., Корец М.А., Петренко А.Е. Структура фитомассы древостоев лиственницы Гмелина на разных этапах онтогенеза эдификатора……. 363
Пыжев А.И., Ваганов Е.А., Зандер Е.В. Потенциал углеродпоглощающей способности российских лесов как основа выполнения национальных обязательств в рамках Парижского соглашения по климату…….. 367
Рыжкова Н.И., Пинто Г., Крышень А.М., Бержерон И., Олс К., Дробышев И.В. Реконструкция пожарной активности в северотаежных лесах европейской части России по данным дендрохронологических исследований на территории национального парка «Калевальский»…….. 370
Салтыков М.Ю., Якубайлик О.Э., Барцев С.И. Идентификация типов растительности и их границ с помощью нейросетей……... 373
Самбуу А.Д. Леса и редколесья таежно-гольцовых ландшафтов хр. Ергак-Таргак-Тайга…….. 376
Самбуу А.Д. Пулы углерода лесостепных экосистем хр. Танну-Ола…… 379

Санников С.Н., Санникова Н.С. Эколого-генетическая классификация типов леса на основе эколого-динамических рядов развития биогеоценозов…….. 382
Седаева М.И. Сезонное развитие и репродуктивная способность *Juglans mandshurica* и *Phellodendron amurense* в дендрарии Института леса им. В.Н. Сукачева…… 385
Семенович А.В., Анискина А.А., Лоскутов С.Р. Ростостимулирующая активность модифицированной коры хвойных пород Сибири……... 388
Семенякин Д.В., Иванов В.В., Борисов А.Н. Структура и продуктивность сосновых древостоев при выборочном лесопользовании…… 391
Сенашова В.А., Сафронова И.Е., Анискина А.А. Грибы рода *Lophodermium* Chevall. и их роль в патогенезе хвойных……... 394
Сергеева О.В., Мухортова Л.В., Кривобоков Л.В. Запасы биомассы живого напочвенного покрова и подстилки в биогеоценозах подзоны северной тайги Эвенкии……. 398
Середа Л.Н. Сопряженность феноритмов растений при техногенном воздействии в условиях Заполярья……... 401
Сиденко Н.В., Панов А.В. Пространственно-временной анализ метеорологических условий в экосистемах арктической тундры в прибрежной полосе Центральной Сибири…….. 403
Скрипальщикова Л.Н., Стасова В.В., Бажина Е.В., Барченков А.П., Пономарева Т.В., Гончарова И.А., Шушпанов А.С., Петров И.А., Федотова Е.В., Татаринцев А.И., Белянин А.В., Фомичев И.В. Комплексная оценка современного экологического состояния пригородных лесов г. Красноярска…….. 406
Слинкина О.А., Харук В.И. Горимость лиственничников в лесах Азиатского континента…… 410
Соколов В.А. Проблемы развития лесного комплекса России……... 413
Солнышкин И.А., Токарева И.В., Прокушкина М.П., Корец М.А., Прокушкин А.С. Сравнительная характеристика запасов и процессов сорбции органического вещества в почвах бассейна р. Енисей…….. 416
Солодухина А.Е. Древесно-кустарниковая растительность бассейна реки Тобол в пределах Костанайской области…… 420
Софронова Т.М., Волокитина А.В. О создании терминологического корпуса данных по лесной пирологии для многоязычного сетевого ресурса……. 423
Старцев В.В., Дымов А.А. Органическое вещество почв лиственничников горно-лесного пояса Приполярного Урала…….. 426
Стороженко В.Г. Функциональные задачи грибной дереворазрушающей биоты в генезисе лесных сообществ…… 429
Суховольский В.Г., Ковалев А.В., Тарасова О.В. Моделирование динамики численности сибирского шелкопряда…… 432
Суховольский В.Г., Черткова Е.А., Тарасова О.В. Смертность гусениц насекомых под воздействием различных факторов: модель фазового перехода второго рода.. 435
Тараканов В.В., Зацепина К.Г., Экарт А.К., Кальченко Л.И. Популяционная структура и лесосеменное районирование *Pinus sylvestris* L…….. 439
Тихонова И.В., Экарт А.К., Кравченко А.Н., Тихонова Н.А., Семенякин Д.А. Встречаемость редких аллелей аллозимных маркеров у подроста в популяциях сосны обыкновенной, подверженных разным видам антропогенной нагрузки в Красноярской, Канской и Ачинской лесостепи…… 442
Токарева И.В., Прокушкина М.П., Колосов Р.А., Солнышкин И.А., Корец М.А., Эймон Р., Прокушкин А.С. Пространственно-временная изменчивость содержания биогенных элементов в стоке реки Енисей…….. 446

Третьякова И.Н., Пак М.Э., Пахомова А.П., Орешкова Н.В., Шуклина А.С., Кулагин Д.В., Константинов А.В., Кусенкова М.П., Падутов В.Е. Микроклональное размножение и получение генетически тестированных клонов хвойных в культуре *in vitro* через соматический эмбриогенез…… 450
Тычков И.И., Попкова М.И., Ильин В.А., Шишов В.В. Моделирование фенологических изменений хвойных деревьев в результате изменения климата в Якутии……... 453
Тютькова Е.А., Лоскутов С.Р. Термический и спектральный анализ ранней и поздней древесины лиственницы Гмелина, произрастающей на полярной границе леса: корреляция с климатическими факторами…… 455
Усольцев В. А., Цепордей И. С., Осмирко А. А. Биологическая продуктивность лесов Евразии в связи с температурой и осадками…….. 458
Уфимцев В.И. Естественное возобновление и семеношение сосновых насаждений на отвалах угольной промышленности Кузбасса…… 461
Фарбер С. К., Кузьмик Н. С. Определение потенциальной продуктивности древесных пород с использованием показателей тепла, влаги и плодородия почв.. 464
Федорова И.В., Четверова А.А., Боброва О.Н., Здоровеннов Р.Э., Алексеева Н.К. Геохимический сток реки Лены в Северный Ледовитый океан и его трансформация в дельте на современном этапе……... 468
Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Малышева Н.В. Принципиальная особенность методики учета поглощения CO_2 лесами Российской Федерации…….. 472
Фуряев В.В., Цветков П.А., Фуряев И.В. Современные представления о пожароустойчивости бореальных лесов…… 475
Харук В.И., Им С.Т., Петров И.А., Катарчян А.С. Хвойные Сибири в меняющемся климате…….. 477
Цандекова О.Л. Аллелопатическое влияние *Acer negundo* L. в условиях нарушенных пойменных фитоценозов…….. 480
Цветков П.А. Лаборатория лесной пирологии ИЛ СО РАН: 60 лет, итоги и перспективы……. 483
Цветков П.А. Роль пожаров в формировании среднетаежных сосняков Средней Сибири…….. 487
Целитан И.А., Соколов В.А., Данилин И.М. Формирование молодняков на вырубках в Нижнем Приангарье…… 490
Цуй Цзян, Арефьев К.П., Батранин А.В., Бондаренко С.Л., Лаптев Р.С., Стучебров С.Г. Исследования структуры годичных колец хвойных деревьев высокотехнологичными инструментальными методами……. 495
Чынгожоев Н.М., Эсенбеков М.А., Тырготов А.А. Изменчивость диаметров в еловых культурах северо-восточной части Кыргызстана…… 498
Шапченкова О.А., Краснощеков Ю.Н., Лоскутов С.Р. Постпирогенная трансформация органического вещества в подстилках сосновых лесов Юго-Западного Прибайкалья…….. 501
Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Кракснер Ф. Углеродный бюджет лесов как нечеткая система: информационные и методические особенности……... 504
Шергина О.В., Михайлова Т.А., Калугина О.В. Оценка экологического состояния техногенно загрязняемых лесных почв по педохимическим показателям…… 511
Ширеторова В.Г., Хантургаев А.Г. Комплексная переработка семян и шишек сосны сибирской с применением микроволновых технологий…….. 514
Ширеторова В.Г., Эрдынеева С.А., Раднаева Л.Д. Изменчивость компонентного состава эфирных масел хвои кедровых сосен в зависимости от эколого-географических факторов……... 517

Шишикин А. С. Биогенный фактор формирования породного состава древостоя.. 520
Шишикин А.С., Буренина Т.А., Пономарева Т.В., Ефимов Д.Ю. Бассейновый принцип организации ландшафтных структур……. 524
Шуваев Д.Н., Кальченко Л.И., Сулименко Т.И. Изменчивость сосны кедровой сибирской в Горном Алтае по данным анализа ядерных микросателлитных локусов…….. 529
Шуклина А.С. Особенности культуры микроспорофиллов сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) *in vitro*……... 532
Шушпанов А.С., Петров И.А., Им С.Т., Харук В.И. Динамика верхней границы сомкнутых древостоев в горах Восточного Саяна……... 534
Щепащенко Д.Г., Швиденко А.З., Молчанова Е. Совершенствование системы нормативов оценки углеродного бюджета лесов России…… 538
Экарт А.К., Семериков В.Л., Ларионова А.Я., Кравченко А.Н., Семерикова С.А. Изменчивость митохондриального локуса mh 44 у *Picea obovata* Ledeb…….. 540
Amon R.M.W., Anis A., Molodtsov S., Prokushkin A., Yvon-Lewis S., Li T., Panov A., Guggenberger G., Solnyshkin I. Greenhouse gas concentrations, isotopic composition, and corresponding gas fluxes along the Siberian river, Yenisei……... 543
Goldammer J.G. Evaluation of achievements in nature-based fire management and development of future cooperative approaches at the science-policy interface in Siberia and adjoining regions of Central Asia……... 545
Köster K., Köster E., Berninger F., Pumpanen J. How time since the last forest fire affects the soil CO_2 and CH_4 emissions in Siberian Boreal Forests……. 546
Kraxner F., Schepaschenko D., Fuss S., Krasovskii A., Patrizio P., Leduc S., Kindermann G., Yowargana P., Yuwono B., Shvidenko A. Negative emissions – the challenge of increasing the carbon sink through afforestation, reforestation and restoration on the northern hemisphere – case study Eurasia…….. 549
Magnuszewski M., Rostek K. Actual problems and activities in forest protection and silviculture in the state Polish forests…… 552
Molodtsov S., Li D., Anis A., Amon R., Panov A., Prokushkin A., Yvon-Lewis S. Estimation of gas exchange coefficients from observations on Yenisei river…….. 553
Urbazaev M., Cremer F., Stelmaszczuk-Gorska M., Thiel C., Schmullius C. Potential of radar remote sensing techniques for mapping of forest cover and structure parameters in various biomes…… 554

УДК 581.5+581.134.5:581.824+582.475+551.510.534

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОСТАТОЧНЫХ ГАЗОВ В ГОДИЧНЫХ КОЛЬЦАХ СТВОЛОВ СОСНЫ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

Б.Г. АГЕЕВ[1], В.А. САПОЖНИКОВА[1], А.Н. ГРУЗДЕВ[2], Е.А. ГОЛОВАЦКАЯ[3], Е.А. ДЮКАРЕВ[3, 4], Д.А. САВЧУК[3]

[1] Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия (ageev@iao.ru, sapo@iao.ru)
[2] Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия (a.n.gruzdev@mail.ru)
[3] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия (golovatskaya@imces.ru, egor@imces.ru, savchuk@imces.ru)
[4] Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия (egor@imces.ru)

В работе проводится анализ погодичного распределения CO_2, H_2O, общего давления в пробах, извлекаемых под вакуумом из древесины годичных колец спилов шести деревьев сосны одного региона произрастания. Показано, что 1) сходные хронологии ширин колец разных деревьев могут различаться распределением газовых компонентов по кольцам, 2) общей для всех полученных хронологий является выявляемая цикличность.

COMPARISON OF THE CHARACTERISTICS OF RESIDUAL GASES IN THE ANNUAL RINGS OF THE PINE STEMS FOR THE LAST 50 YEARS

B.G. AGEEV[1], V.A. SAPOZHNIKOVA[1], A.N. GRUZDEV[2], E.A. GOLOVATSKAYA[3], E.A. DUKAREV[3, 4], D.A. SAVCHUK[3]

[1] V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia (ageev@iao.ru, sapo@iao.ru)
[2] A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia (a.n.gruzdev@mail.ru)
[3] Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia (golovatskaya@imces.ru, egor@imces.ru, savchuk@imces.ru)
[4] Ugra State University, Hanty-Mansiysk, Russia (egor@imces.ru)

The paper analyzes the annual distribution of CO_2, H_2O, total pressure of samples vacuum-extracted from trunk tree rings of six pine tree discs. It has been shown that 1) the similar ring width chronologies of different trees may differ in the distribution of gas components in the rings and 2) the detectable cyclicity is a common for all the chronologies obtained.

Вопросы реакций лесных экосистем на климатические изменения продолжают оставаться на повестке дня [3, 2, 4], и основным материалом для изучения служат годичные кольца деревьев, их хронологии [8]. Однако такие исследования оставляют в стороне анализ поведения газовых составляющих в дереве, погодичное распределение которых могло бы дополнить картину особенностей произрастания деревьев. Мы предположили, что CO_2, представляющий собой долю выдыхаемого клетками углекислого газа во время роста дерева, сохраняется благодаря присутствию связанной H_2O в древесине. Исследования показали, что вариации газовых компонентов, сохраняющихся в древесных кольцах спилов (CO_2, CO_2+H_2O), носят явно выраженный циклический характер, что указывает на возможное их циклическое поступление в атмосферу [5, 9, 6, 7]. В данной работе приводятся найденные хронологии CO_2, H_2O и давления в пробах, извлекаемых под вакуумом из древесины годичных колец спилов стволов нескольких деревьев сосны, произраставших близко друг к другу, и анализируются их особенности. Объект исследования – спилы стволов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как основного лесообразующего вида в Западной Сибири [2], взятые в 10–15 км к западу от Томска (юг Томской области). Три сосны произрастали на возвышенном участке и упали после ветровала в 2015 г. (маркировка «лес»), три других сосны росли в 200 метрах от первых на торфяной залежи (перепад высот около 10 м) и упали после пожара в 2015 г. (маркировка «торф»). Из каждого

годичного кольца этих спилов вакуумным методом извлекались пробы газа, которые анализировалась с помощью компьютеризированного оптико-акустического лазерного спектрометра с перестраиваемым по частоте волноводным CO_2-лазером [5, 9, 6, 7]. В данном эксперименте были исследованы пробы из древесины 254 колец спилов.

Распределения CO_2 по кольцам спилов деревьев, росших на одном участке леса, оказались различными. Даже для спилов «лес 1» и «лес 2», имеющих высокую корреляцию хронологий ширины кольца, погодичные распределения CO_2 различаются. Оказалось, что распределение CO_2 по кольцам и поведение кривой радиального прироста часто находятся в противофазе (рис. 1). Используемая методика дает возможность детектировать сигнал от содержащейся в древесине колец воды: на линии R(20) фиксируется сумма сигналов от (H_2O+CO_2), затем значение сигнала от CO_2 вычитается из этой суммы.

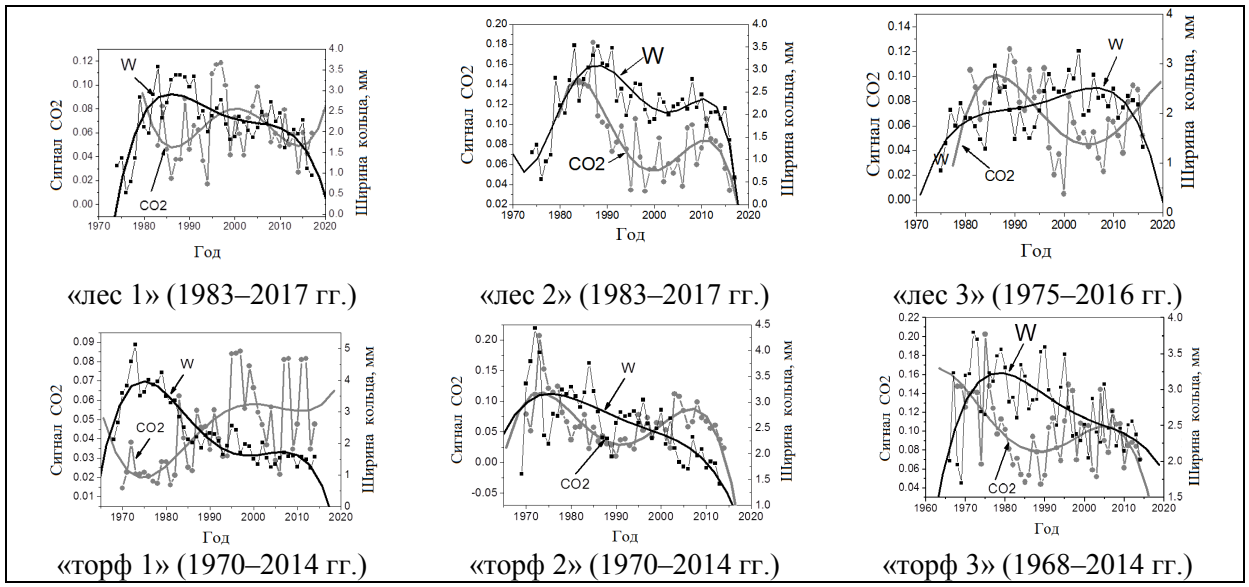


Рис. 1. Сравнение экспериментальных хронологий CO_2 в кольцах (серая кривая) и ширины колец (W, черная кривая) для спилов сосен. Данные аппроксимированы полиномом 4 порядка

Для оценки циклических вариаций в хронологиях CO_2 и H_2O в кольцах спилов и их изменений во времени применялся спектральный и кросс-спектральный анализ высокого разрешения по методу максимальной энтропии и Фурье-анализ пакета программ ORIGIN. Спектральный анализ полученных хронологий H_2O, CO_2 спилов показал, что вариации с циклом, близким к 4 годам, присутствуют во всех спилах (рис. 2а, б; 3). Результаты анализа вариаций давления в пробах выявили циклы, близкие к 2 и 4 годам (рис. 2в), и рост давления в извлекаемых пробах с возрастом дерева.

Таким образом, оказывается, что произрастающие рядом деревья, даже имеющие сходные хронологии ширины колец, различаются погодичной вариацией газов, сохранившихся в древесине колец спилов, что могло свидетельствовать о различной реакции деревьев на колебания температур, осадков и условия места произрастания (грива, торфяная залежь). Фурье-анализ (FFT) погодичной изменчивости сумм осадков рассматриваемого региона за гидрологический год и «зимний» период с 1890 по 2018 гг. выявил наличие циклов, близких 2, 3, 4, 5, 6, 9 годам, и было найдено, что 4-летний цикл довольно устойчиво проявляется в летних осадках, однако в зимних осадках он проявляется нерегулярно. Значимой корреляции сохранившейся в кольцах спилов H_2O с осадками не обнаружено, т. е. осадки не оказывают значительного влияния на связанную воду, которая сохраняется в древесине. Кросс-спектральный анализ хронологий H_2O и осадков на 4-летнем масштабе показал отсутствие связи с зимними

осадками и противофазность с летними для ряда спилов. Было найдено, что общей для всех исследуемых спилов явилась цикличность во всех хронологиях, что необходимо принимать во внимание при исследованиях выделения CO_2 растительностью.

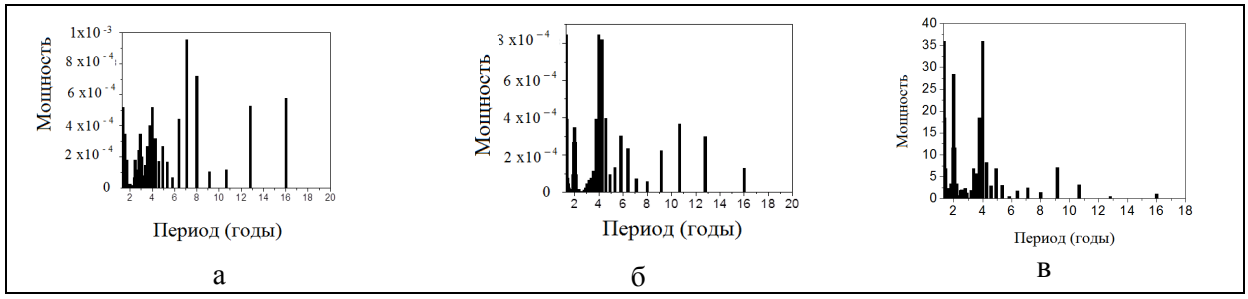


Рис. 2. Результаты Фурье-анализа хронологий CO_2 в спилах «лес 3» (а), «торф 1» (б) и давления в пробах спила «торф 1» (в)

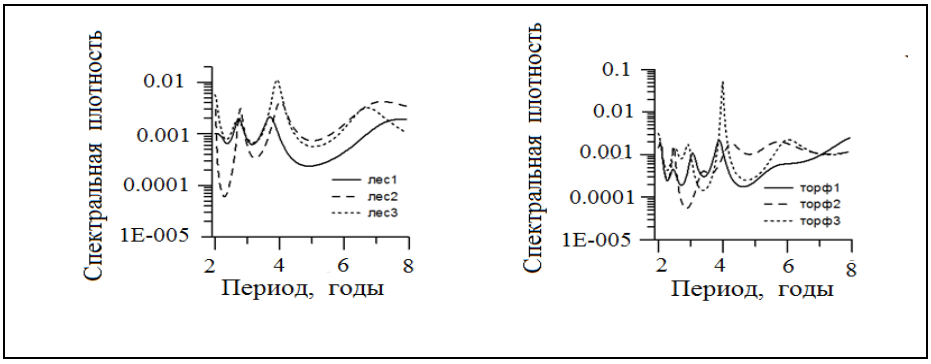


Рис. 3. Спектры хронологий H_2O для спилов деревьев сосны

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
2. *Паневин В.С.* Леса и лесное хозяйство Томской области. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2006. 126 с.
3. *Тишин Д.В.* Дендроклиматические исследования ели финской (*Picea* x *fennica* (Regel) Kom.) на южной границе ареала // Уч. зап. Казан. гос. ун-та, 2008, 150(4). С. 219–225.
4. *Шишов В.В., Ваганов Е.А., Хьюс М.К., Корец М.А.* Пространственная изменчивость радиального прироста деревьев на территории Сибири в последнем столетии // Докл. РАН. 2002. 387(5). С. 690–693.
5. *Ageev B.G., Gruzdev A.N., Sapozhnikova V.A.* Cyclic variation of residual (CO_2 + H_2O) and total pressure in conifer stem and woody root tree rings // J. Sib. Fed. Univ. Biol. 2018. 11(3): 206–217.
6. *Ageev B., Ponomarev Y., Sapozhnikova V., Savchuk D.* A laser photoacoustic analysis of residual CO_2 and H_2O in larch stems // Biosensors. 2015. 5: 1–12.
7. *Ageev B.G., Gruzdev A.N., Sapozhnikova V.A.* Variations in gas components and total pressure in stem and root disc wood of conifer species // Atmos. Ocean. Optics. 2017. 30(2): 209–215.
8. *Esper J., Cook E.R., Schweingruber F.H.* Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability // Science. 2002. 295: 2250–2253.
9. *Sapozhnikova V.A., Gruzdev A.N., Ageev B.G., Ponomarev Yu.N., Savchuk D.A.* Relationship between CO_2 and H_2O variations in tree rings of Siberian stone pine and meteorological parameters // Doklady Earth Sciences. 2013. 450(2): 652–657.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках проекта IX.138.1.1 Программы фундаментальных исследований государственных академий наук.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКОКОМПОСТИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ЛЕСОПЕРЕРАБОТКИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ УДОБРИТЕЛЬНЫХ СУБСТРАТОВ

Г.И. АНТОНОВ, Н.В. ПАШЕНОВА, О.Э. КОНДАКОВА, А.П. БАРЧЕНКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (egoan@yandex.ru)

Протестирована технология микокомпостирования древесных отходов с использованием дереворазрушающих микромицетов. Выявлен положительный эффект применения микопродукта в опилочно-почвенных субстратах для плодородия на примере изменений в морфометрических показателях саженцев сосны и ели.

USING THE MYCOCOMPOSTING OF LUMBERWASTE FOR FERTILIZER SUBSTRATES

G.I. ANTONOV, N.V. PASHENOVA, O.E.KONDAKOVA, A.P. BARCHENKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (egoan@yandex.ru)

Technique of lumberwaste mycocomposting using the wood-destroying fungi is tested. Revealed the positive effect by using mycocompost in soil-sawdust substrates in terms of morphometric characteristics of seedlings.

Опилки, щепа, кора как на месте рубок, так и на предприятиях лесного сектора представляют собой пожароопасные промышленные отходы. В последнее время способность почвенной микробиоты к утилизации огромного количества разнообразных отходов используется все больше, и лесоперерабатывающие предприятия не исключение [3, 5, 8, 11, 12]. При этом функциональная активность микроорганизмов и почвенных беспозвоночных применяется для активной деструкции органических соединений в виде щепы, опилок и других компонентов лигно-целлюлозного комплекса. Для ферментативно-микробиологической переработки свежей опилочной массы достаточно применения «затравки», состоящей из микродоз удобрений или мицелия микроскопических грибов-целлюлозоразрушителей. Основная задача нашего коллектива состояла в изучении метаболической функции почвенной биоты при утилизации большого количества клетчатки в виде порубочных остатков и древесных опилок при росте основных хвойных культур Сибири: сосны и ели. В прошедших экспериментах применение опилочно-почвенных субстратов на основе диаммофоски, аммонийной селитры, сульфата аммония и мочевины повысило микробиологическую и энзиматическую активность почвы под хвойными культурами и оптимизировало процессы трансформации опилочно-почвенной смеси, а также значительно сказалось на увеличении общего и белкового азота в хвое саженцев [1].

Далее проводились работы по повышению эффективности опилочно-почвенной смеси путем внесения микокомпоста (продукта биоконверсии опилок дереворазрушающими микромицетами). Был приготовлен опилочно-почвенный субстрат на основе микопродукта целлюлозоразлагающих микромицетов [7]. В течение летнего периода производилось компостирование опилок с использованием микопродукта. После двух месяцев компостирования в лаборатории он был перемещен в короба в пропорции 1:20, т. е. примерно 5 кг полученного микопродукта на 100 кг опилочно-почвенной смеси. В течение полугода в банках наращивался микопродукт, далее его добавляли к 6—7 кг автоклавированных опилок. В результате получилось 5 контейнеров с микопродуктом весом 8—10 кг каждый. 24 августа 2017 года на территории питомника э/х «Погорельский бор» был установлен эксперимент по биоконверсии опилочно-почвенной массы с использованием микопродукта, для чего обустроили дополнительные площадки. Помимо опилочно-почвенных композитов на основе микродоз удобрений эксперимент включает в себя участки с внесением

опилочно-почвенных субстратов на основе микопродукта. В начале сезона контейнеры перевозились в стационар, где в соотношении 10 % к основной опилочно-почвенной массе они добавлялись в короба-биореакторы с микродозами диаммофоски, аммонийной селитры, сульфата аммония, мочевины и контрольным вариантом. Проводился микробиологический и энзимологический анализ опилочно-почвенной смеси с микопродуктом непосредственно из биореакторов. В варианте с микродозами диаммофоски и мочевины количество гидролитиков возрастает более чем в 3 раза по сравнению с контролем, что указывает на активность большего количества внешних ферментов для инициации начальной стадии деструкции опилок. Наблюдается также увеличение активности окислительно-восстановительных ферментов, полифенолоксидазы и пероксидазы, и гидролитических энзимов, протеазы и уреазы опилочно-почвенных субстратов с микопродуктом по сравнению с контролем, что также говорит об изменении метаболических функций клеток почвенных микроорганизмов [2, 4, 6, 9, 10]. Таким образом, в условиях питомника основные хвойные породы были высажены на пяти вариантах опилочно-почвенных композиций на основе микопродукта. 1 вариант: диаммофоска + $CaCO_3$ + микопродукт; 2 вариант: аммонийная селитра + $CaCO_3$ + микопродукт; 3 вариант: мульфат аммония + $CaCO_3$ + Микопродукт; 4 вариант: мочевина + $CaCO_3$ + микопродукт; 5, контроль: опилки + почва + микопродукт.

Оценка пищевой активности почвенной биоты под саженцами в питомнике с использованием системы bait-lamina test [13] показала некоторые различия между поглощением питательного гомогената различными представителями почвенной биоты в 10-сантиметровом слое опилочно-почвенных композитов разного типа, в особенности с вариантом сульфата аммония под сосной и контрольным вариантом без микродоз и микопродукта под елью. Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что доля влияния при использовании микопродукта под саженцами сосны составила 1,72 %, а под елью – 0,43 %. Также исследовалось влияние опилочно-почвенных субстратов на участках внесения на морфометрические показатели саженцев хвойных. Высота саженцев сосны обыкновенной на участках с микродозами аммофоса и сульфата аммония в 2-3 раза выше по сравнению с контролем (рис. 1).

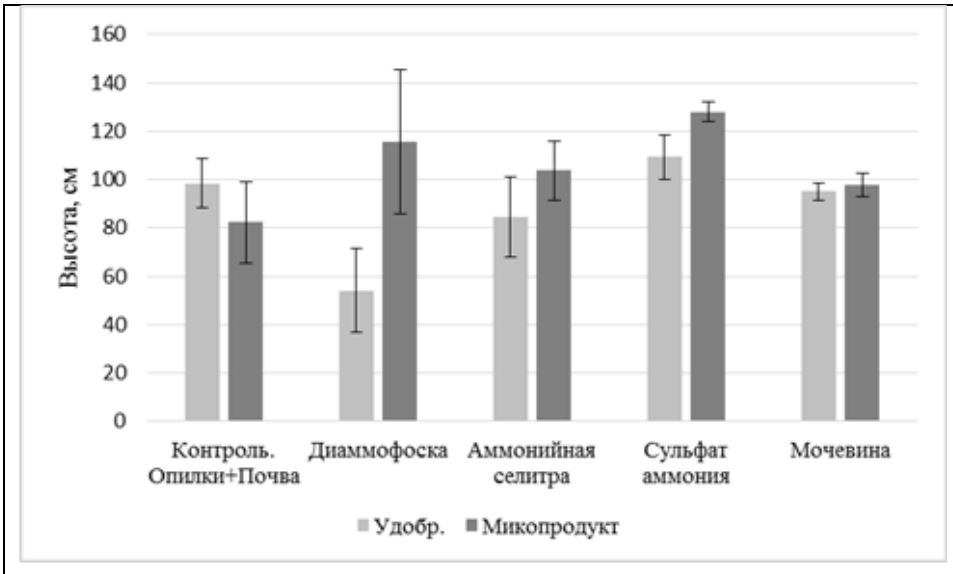


Рис. 1. Высота саженцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) после использования в питомнике опилочно-почвенного субстрата с микопродуктом

Однако прирост в конце вегетационного периода заметно выше у саженцев ели сибирской практически на всех опилочно-почвенных субстратах с добавлением

микродоз удобрений азотного ряда (рис. 2).

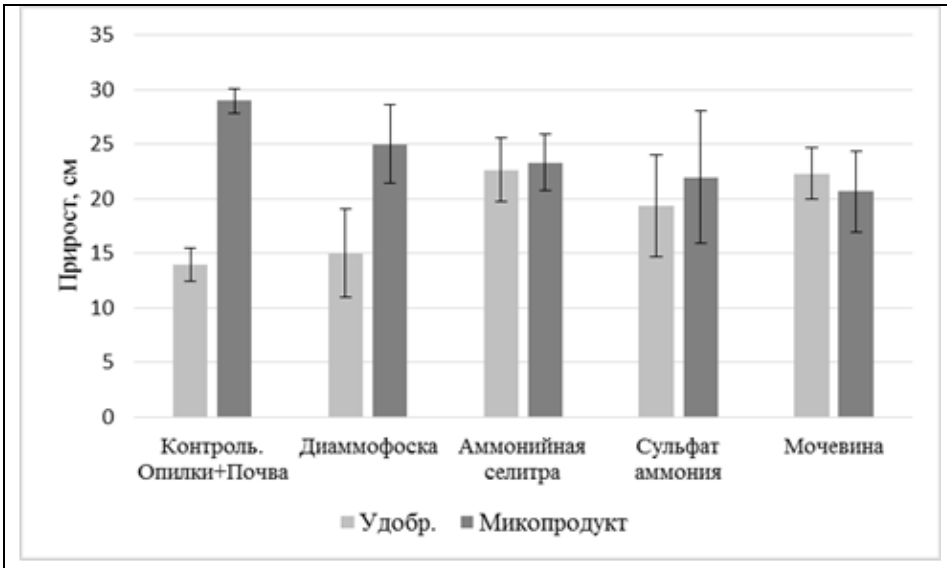


Рис. 2. Прирост верхушечной почки центрального побега у саженцев ели сибирской (*Picea obovata* L.) при использовании в питомнике опилочно-почвенного субстрата с микопродуктом

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антонов Г.И., Сорокин Н.Д., Барченков А.П., Кондакова О.Э.* Оптимизация лесовыращивания с использованием биоконверсии древесно-опилочной массы в условиях Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2018. № 1. С. 56–64.
2. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биология почв юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. С. 350.
3. *Рабинович Г.Ю., Ковалев Н Г., Сульман Э.М.* Биоконверсия органического сырья в удобрения и кормовые добавки (Микробиол. аспекты). М-во образования РФ, Твер. гос. техн. ун-т, 1999, 167 с.
4. *Сорокин Н.Д.* Микробиологическая диагностика лесорастительного состояния почв Средней Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 222 с.
5. *Степень Р.А., Репях С.М.* Альтернативные пути рациональной переработки древесных отходов // Инвестиционный потенциал лесопромышленного комплекса Красноярского края. Лесосибирск, 2001. С. 116–121.
6. *Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. С. 252.
7. *Патент* на изобретение № 2681572 от 11.03.2019. Опилочно-почвенный субстрат для оптимизации плодородия почв / Г.И. Антонов, Н.В. Пашенова, И.Д. Гродницкая.
8. *Arantes V., Milagres A.M.F., Filley T.R. et al.* Lignocellulosic polysaccharides and lignin degradation by wood decay fungi: the relevance of nonenzymatic Fenton-based reactions // Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 2010. 38: 541–555.
9. *Baldrian P.* Microbial enzyme-catalyzed processes in soils and their analysis // Plant Soil Environ. 2009. 55(9): 370–378.
10. *Datta R., AditiKelkar A., Divyashri Baraniya D. et al.* Enzymatic Degradation of Lignin in Soil: A Review // Sustainability. 2017. 9. 1163.
11. *Hättenschwiler S., Tiunov A.V., Scheu S.* Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystem // Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 2005. 36: 191–218.
12. *Igbokwe P.K., Asadu C.O., Okpe E.C. et al.* Manufacture of Bio Fertilizer by Composting Sawdust and Other Organic Waste // International Journal of Novel Research in Physics Chemistry & Mathematics., 2015, 2(3): 6–15.
13. *Römbke J., Höfer H., Garcia M. et al.* Feeding activities of soil organisms at four different forest sites in Central Amazonia using the bait lamina method // Journal of Tropical Ecology., 2006, 22: 313–320.

УДК 551.513.510.42

РОЛЬ АТМОСФЕРНОГО БЛОКИРОВАНИЯ КАК ФАКТОРА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ В СИБИРИ И НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

О.Ю. АНТОХИНА, П.Н. АНТОХИН, Б.Д. БЕЛАН

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия (Antokhina@iao.ru)

Показано, что в сибирском и дальневосточном регионах интенсивные пожары в большинстве случаев связаны с атмосферным блокированием, а также процессами опрокидывания волн Россби. Эти процессы обусловливают высокие температуры, низкое влагосодержание и отсутствие облачности. Исследуется эмиссия метана от природных пожаров в Западной Сибири в периоды атмосферного блокирования на основе данных Global Fire Assimilation System (GFAS) и Global Fire Emissions Database (GFED). Обе базы показывают хорошее соответствие резкого увеличения интенсивности эмиссий в периоды блокирования.

ATMOSPHERIC BLOCKING AS A DRIVER OF THE EXTREME FOREST FIRES IN SIBERIA AND IN THE FAR EAST

O.Yu. ANTOKHINA, P.N. ANTOKHIN, B.D. BELAN

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia (olgayumarchenko@gmail.com)

It is shown that in the Siberian region the most intense fires in most cases are associated with atmospheric blocking, as well as Rossby waves breaking. These processes cause high temperatures, low moisture content and the absence of clouds. Methane emissions from wildfires in Western Siberia during periods of atmospheric blocking are studied based on the Global Fire Assimilation System (GFAS) and the Global Fire Emissions Database (GFED). Both bases show good compliance with a sharp increase in the intensity of emissions during periods of blocking.

Природные пожары оказывают существенное влияние на экосистемы, а также на состав атмосферы. Пожары являются дополнительным источником парниковых газов [1]. На территории Сибири и Дальнего Востока пожары возникают каждый летний сезон, но в некоторые периоды они приобретают катастрофический характер [1–6]. Одной из наиболее вероятных причин увеличения числа и интенсивности пожаров является формирование блокирования в атмосфере [4, 6]. В работе [6] авторы исследовали изменения концентрации метана в Западной Сибири (ЗС) в периоды блокирований с 2005 по 2013 г. и пришли к выводу, что большая часть периодов блокирования с существенным увеличением концентрации метана сопровождается пожарами. Авторами [5] показано, что повторяемость пожаров в Сибири имеет наиболее сильную прямую зависимость от приходящей солнечной радиации (СР) (коэффициент корреляции 0.9). Величина СР в умеренных широтах напрямую зависит от характера циркуляции атмосферы, а наиболее высокие значения СР приходятся на периоды стационирования масштабных антициклонов. Наиболее типично стационирование антициклона для блокирующих процессов умеренных широт. Над Азией эти процессы имеют максимум повторяемости в летний период. Поэтому мы предположили, что блокинги являются хорошим кандидатом на роль одной из основных причин увеличения числа экстремальных пожаров. Для того чтобы продемонстрировать связь повторяемости блокирования и СР, мы посчитали корреляцию повторяемости блокингов (ПМБ) (рис. 1) согласно методу [7] для долготных секторов – 50–80 в. д., 80–110 в. д., 110–130 в. д. и СР в узлах регулярной сетки. На рис. 2. приведены полученные коэффициенты корреляции для Восточной Сибири в июле. Обнаружена тесная корреляционная связь блокингов в каждом из районов для каждого летнего месяца. Наиболее тесная связь приходящей солнечной радиации наблюдается с блокингами, возникающими в секторе 80–110 в. д. в июле.

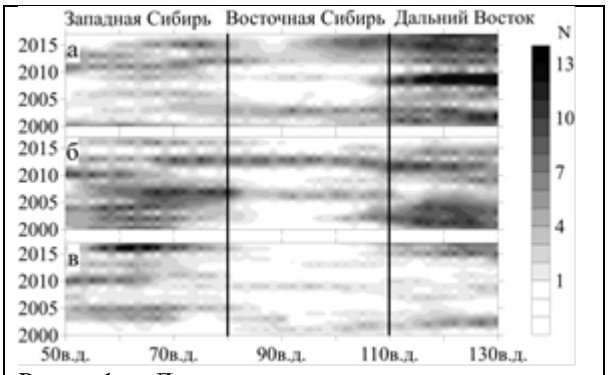


Рис. 1. Долготно-временные диаграммы количества блокирующих ситуаций в июне (а), июле (б) и августе (в)

Стоит отдельно отметить, что область наибольших корреляций приходится на район максимального распространения сосновых лесов (Pine forest) [5]. Можно предположить, что ключевыми с точки зрения пожаров в Сибири являются блокинги, сформированные опрокидыванием гребня с Западной на Восточную Сибирь.

На рис. 3 (слева) показана облачность по спутниковым данным для 23 июля 2016 г. Для периода 16–23 июля 2016 г. было характерно опрокидывание гребня с Западной на Восточную Сибирь. Область блокирующего гребня была расположена между Западной и Восточной Сибирью, и на рис. 3 для этого района отчетливо видно отсутствие облачности. На рис. 3 (справа) показан спутниковый снимок дымовых шлейфов для 22 июля 2016 г. Хорошо видно, что большая часть Азии покрыта пеленой дыма, однако максимальная плотность и сам очаг возгорания находятся в области отсутствия облачности (область блокирующего гребня).

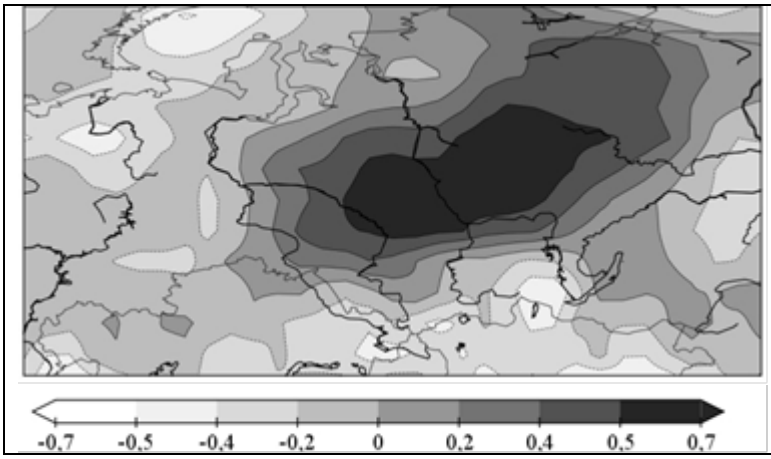


Рис. 2. Распределение коэффициентов корреляции повторяемости атмосферного блокирования в Восточной Сибири (80–110 в. д.) и суммарной солнечной радиации по данным Era-Interim [8] для 2000–2018, для июля. Отрицательные значения коэффициентов корреляции – пунктир, положительные – сплошная линия

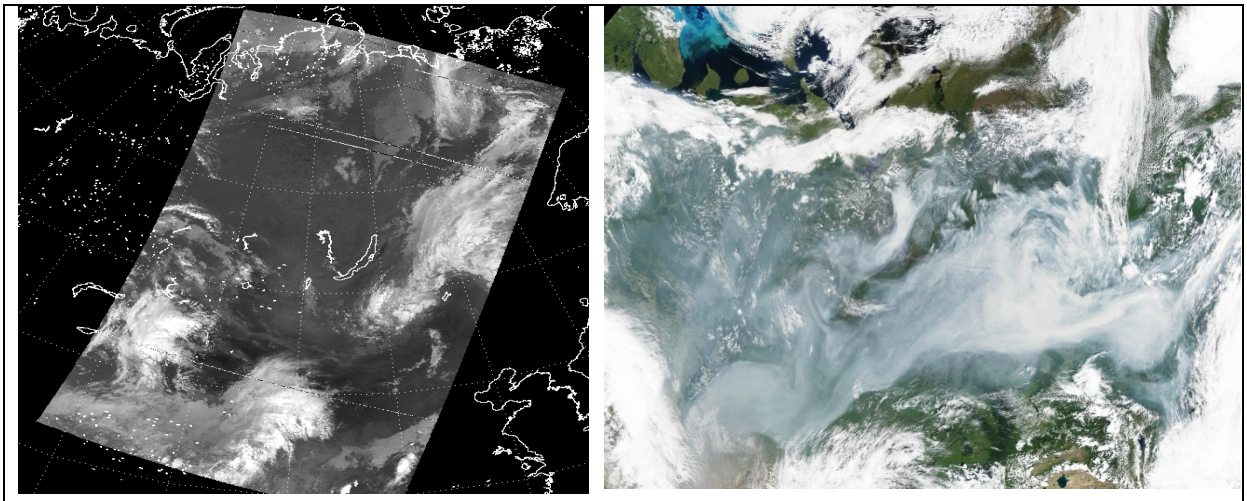


Рис. 3. Спутниковый снимок облачности 23 июля 2016 года, полученный из архива телеметрии NOAA [http://atmos.iszf.irk.ru/ru/sputnik/noaa] (слева) и спутниковый снимок дымовых шлейфов 22 июля 2016 г. [https://earthobservatory.nasa.gov/]

На рис. 4 показана изменчивость эмиссии метана от пожаров в Западной Сибири для летнего периода 2016 г. на основе двух баз данных. Хорошо видно, что обе базы показывают существенное увеличение эмиссии метана в период блокирования (пожаров). Кроме того, стоит отметить, что поведение для двух разных архивов довольно согласованно.

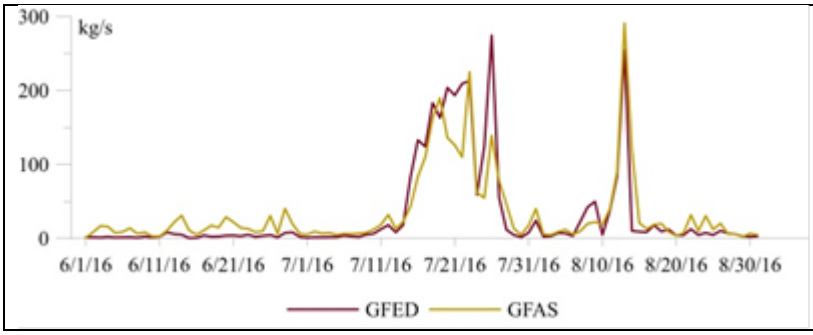


Рис. 4. Эмиссия метана от пожаров в области 50–70 с. ш., 60–90 в. д. по данным GFAS [9], GFED [10]

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dlugokencky E.J. et al.* Observational constraints on recent increases in the atmospheric CH4burden // Geophysical Research Letters. 2009. Vol. 36. № 18.
2. *Бондур В.Г.* Космический мониторинг эмиссий малых газовых компонент и аэрозолей при природных пожарах в России // Исследование Земли из космоса. 2015. № 6. С. 21–35.
3. *Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н.* Аномальные пожары 2010 и 2012 г. на территории России и поступление черного углерода в Арктику // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 6. С. 482–487.
4. *Ситнов С.А., Мохов И.И., Джола А.В.* Влияние сибирских пожаров на содержание монооксида углерода в атмосфере над европейской частью России летом 2016 г. // Опт. атмосферы и океана. 2017. Т. 30. № 2. С. 146–152.
5. *Ponomarev E. et al.* Wildfires Dynamics in Siberian Larch Forests // Forests. 2016. Vol. 7. № 12. P. 125.
6. *Антохин П.Н. и др.* Влияние атмосферного блокирования в Западной Сибири на изменение концентрации метана в летний период // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30. № 5. С. 393–403.
7. *Антохина О. Ю., Антохин П. Н., Зоркальцева О. С., Девятова Е. В.* Атмосферные блокинги в Западной Сибири. Часть I: Особенности обнаружения, объективные критерии и их сравнение // Метеорология и гидрология. 2017. № 10. С. 34–45.
8. *Dee D.P. et al.* The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2011. Vol. 137. № 656. P. 553–597.
9. *Kaiser J. W. et al.* Biomass burning emissions estimated with a global fire assimilation system based on observed fire radiative power // Biogeosciences. 2012. V. 9. P. 527–554.
10. *Giglio L., Randerson J.T., Werf G.R.V.D.* Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4) // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2013. Vol. 118. № 1. P. 317–328.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 17-05-00119, 17-05-00374.

УДК 634. 221. 231

ВЛИЯНИЕ РУБКИ НА ЕЛОВЫЕ ЛЕСА ВНУТРЕННЕГО ТЯНЬ-ШАНЯ

С.К. АСАНОВ, АРСТАНБЕК УУЛУ НУРМАНБЕТ

НПЦ ИЛ им. П.А. Гана Института биологи НАН КР, Бишкек, Кыргызстан (asanov54@mail.ru, nurmambeta@bk.ru)

Исследования проведены в поясе еловых лесов Внутреннего Тянь-Шаня. Рассматривается влияние прошлых вырубок на структуру древостоя и возобновление ели тянь-шаньской.

INFLUENCE OF CUT ON SPRUCE FORESTS OF INLAND TIAN-SHAN

S.K. ASANOV, ARSTANBEK U NURMAMBET

Scientific and production center for the study of forests after P.A. Gan of the Biology institute of the National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic (asanov54@mail.ru, nurmambeta@bk.ru)

This research has been done on the spruce forest belt of inland Tian Shan. This is researched influence to previous cuts to structure of tree stand and regeneration spruce forests of Tian Shan.

Нарынская область относится к высокогорным районам Кыргызстана и расположена во Внутреннем Тянь-Шане. Ель тянь-шаньская (*Picea schrenkiana* E. et M.) является основной лесообразующей породой области и занимает 30,6 % всей еловой площади республики.

Значение еловых лесов Внутреннего Тянь-Шаня в народном хозяйстве Нарынской области трудно переоценить – в этих лесах в прошлом вели заготовки древесины. Поэтому в последние полвека в еловых лесах области произошли значительные изменения структуры древостоев ели тянь-шаньской.

Начиная с 1940 года в еловых лесах велась условно сплошная рубка леса в промышленных целях. Заготовка древесины проводилась в больших объемах. В результате во многих местах густота насаждений значительно снизилась, а на отдельных участках образовались редины и прогалины. К 1955 году общая площадь еловых лесов области сократилась с 78 341 до 40 850 га, или на 47,9 % по сравнению с 1930 г. В последующие годы, несмотря на запрещение сплошных рубок, в лесхозах продолжались интенсивные выборочные рубки. Все это отразилось как на структуре древостоев, так и на возобновлении ели.

Дальнейшее развитие еловых лесов, произрастающих в горах Внутреннего Тянь-Шаня, их изменение под влиянием антропогенных воздействий, формирование лесов будущего, несомненно, представляют научный и практический интерес. В связи с этим в еловых лесах Нарынской области проведены исследования с целью изучения виляния рубок на структуру насаждений и естественное возобновление ели.

Еловые леса исследуемого района расположены на высоте от 2200 до 3200 м над уровнем моря. Среднегодовая температура воздуха составляет +2,0 °С (метеостанция Нарын, 2048 м н. у. м.), средняя температура воздуха самого теплого месяца – +28 °С, самого холодного – минус 29,9 °С. Средняя сумма осадков 324,0 мм, в том числе в теплый период – 247,1 мм, в холодный – 109,9 мм. Максимум осадков приурочен к весенне-летним месяцам (май – июль), минимум – к зимним (февраль). Такое распределение осадков благоприятствует нормальному росту древесно-кустарниковой и травянистой растительности. Безморозный период длится здесь от 146 до 160 дней. Число дней со снежным покровом – от 125 до 160. Относительная влажность воздуха составляет в среднем за год 60–70 %. Минимальная влажность обычно отмечается в августе и сентябре, максимальная – в феврале и марте.

Работы проводились в два этапа: на первом этапе для определения структуры

насаждений были проложены горизонтальные ходы по склону гор от 2400 м н. у. м. и выше через каждые 100 м. На каждом ходе заложено от 400 до 600 учетных площадок размером 16м^2 по методике М.А. Проскурякова [3].

На втором этапе для оценки успешности возобновления ели были заложены пробные площади в насаждениях разной полноты.

На основании собранного материала выявлены следующие закономерности.

На формирование структуры современных еловых лесов оказала заметное влияние хозяйственная деятельность человека в прошлом. В процессе интенсивной эксплуатации древостоев в доступных местах изменились внешний облик и внутренняя структура насаждений, а также таксационные показатели (густота, запас, высота, диаметр). В результате произошло изменение в структуре древостоев по классам возраста (на примере хр. Нарын-Тоо, рис. 1).

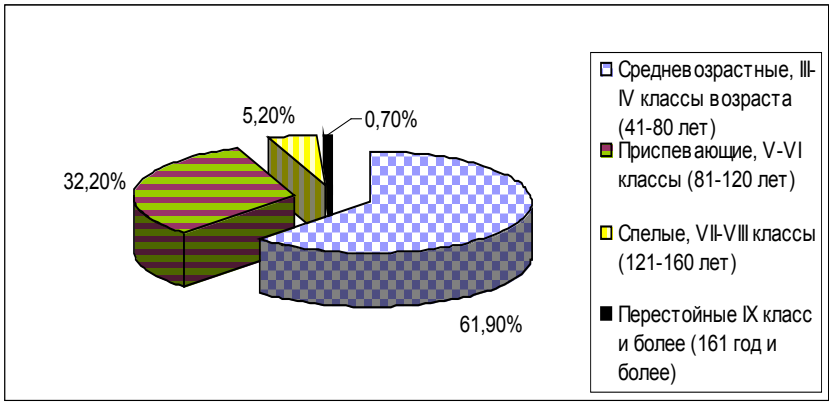


Рис. 1. Структура насаждений

Как видно из рисунка, в настоящее время в насаждениях преобладают в основном средневозрастные деревья (III–IV класс возраста) – 61,9 %, а спелые и перестойные деревья (VII–IX класс возраста) составляют всего около 6 %. Эти данные показывают, что в прошлом заготовка древесины проводились в больших объемах и в основном вырубались крупномерные деревья. На лесосеках оставались молодняки и единичные семенники.

Большие изменения произошли также в горизонтальной структуре насаждений. Более доступные части насаждений (нижняя и средняя) сильнее подвергались рубками, нежели верхние части склонов. Вырубались в основном приспевающие, спелые и перестойные деревья. Поэтому в насаждениях в нижней и средней части елового пояса в пределах высот 2400–2700 м н. у. м. преобладают молодые и средневозрастные деревья (II–IV классы возраста) – 60–80 %, а в верхней части (2800 м и выше) – одновременно средневозрастные и приспевающие деревья (IV–VI классы возраста) – 40–45 % (рис. 2).

Длительная эксплуатация лесов отразилась не только на структуре древостоя, но и на состоянии естественного возобновления ели.

Наличие елового подроста или появление самосева на лесосеках является одним из важных критериев восстановления леса.

В настоящее время в еловых лесах области лесовозобновительные процессы протекают неравномерно. Как уже было отмечено выше, в насаждениях наибольший прессинг испытывали более доступные участки. Имеются и отдельные невосстановившиеся вырубки, заросшие травянистой растительностью или кустарниками (главным образом, рябиной и ивой) высотой 3–5 м. В насаждениях, пройденных условно сплошными рубками и доведенных до полноты 0,3,

лесовозобновительные процессы проходили слабо. Здесь на 1 га имеется в среднем 1200 шт. подроста и 200–300 деревьев. Наибольшее количество подроста (62 %) отмечено в возрастной группе от 10 до 20 лет (рис. 3).

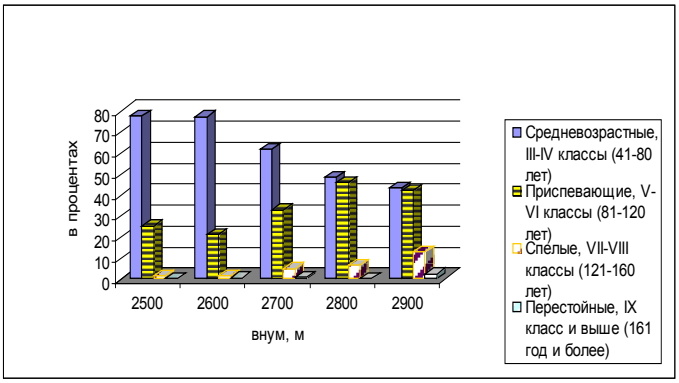


Рис. 2. Горизонтальная структура еловых древостоев по классам возраста

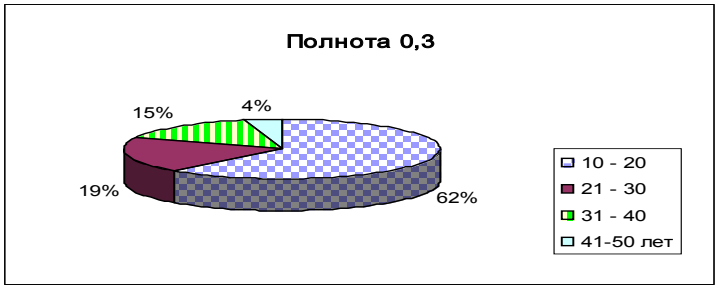


Рис. 3. Распределение подроста ели по возрастным группам

Это свидетельствует о том, что на условно сплошных рубках прошлых лет (с изменением температурного режима, освещенности и развитием мощного травяного покрова) лесовосстановительные процессы проходили медленно и затягивались на долгие годы [2]. Как видно, лесосеки начали восстанавливаться только в последнее десятилетие (рис. 4).



Рис. 4. Самосевы ели тянь-шаньской

В насаждениях успешное возобновление отмечено там, где проводились выборочные рубки умеренной интенсивности. В таких насаждениях деревья были

убраны выборочно, оставлены семенники и открылись небольшие «окна» размером 10×10, 10×15 и 10×20 м (рис. 5). При полноте 0,4–0,6 отмечено в среднем 2200–2300 шт. подроста на га и количество древостоя 400–700 шт./га.



Рис. 5. Подрост в «окнах»

В высокополнотных насаждениях (с полнотой 0,9 и выше) в связи с запущенностью (800–1200 деревьев на га), повышенной влажностью почвы и наличием толстого слоя мха (около 5–10 см) возобновление протекает очень слабо (в среднем 100–200 шт./га) или вообще отсутствует (рис. 6).

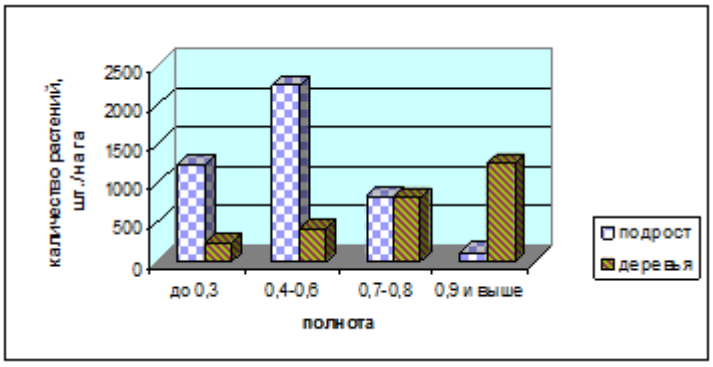


Рис 6. Количественное соотношение подроста и деревьев ели в насаждениях различной полноты

Естественное возобновление леса также значительно зависит от высоты над уровнем моря. Известно, что в горных условиях с увеличением высоты н. у. м. температура воздуха и почвы понижается, что отрицательно сказывается на росте и развитии ели. Поэтому выше 2800–2900 м н. у. м. большинство ельников низкополнотные – V–Va бонитетов.

В нижней и средней частях пояса еловых лесов хребта Нарын-Тоо (2200–2800 м н. у. м.) возобновление идет успешнее (в среднем 1900–2000 шт. подроста на 1 га). Это можно связать с более благоприятными микроклиматическими условиями по сравнению с верхней частью елового пояса (не более 1500 шт. на 1 га), где температура воздуха и почвы значительно ниже (рис. 7).

Таким образом, на склонах гор Внутреннего Тянь-Шаня в более доступных местах образовались разновозрастные насаждения ели.

Большинство спелых и перестойных деревьев сохранились только в верхней части елового пояса, а в нижней и средней частях в основном преобладают молодые и средневозрастные деревья.

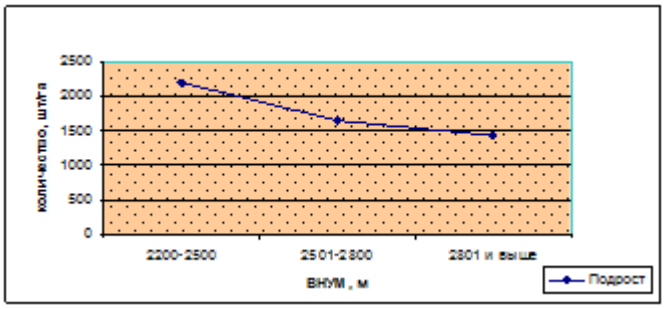


Рис. 7. Среднее количество подроста ели в зависимости от высоты над уровнем моря

Наиболее благоприятные условия для естественного возобновления ели складывались на лесосеках, пройденных выборочными рубками различной интенсивности. Здесь в среднем на 1 га имеется 2200 шт. экземпляров елового подроста. При выборочных рубках не нарушается структура древостоя, выборка деревьев ведется равномерно на всей лесосеке. В результате увеличивается доступ света, тепла и влаги на всю площадь и создаются хорошие условия для появления самосева.

В насаждениях, пройденных условно сплошной рубкой (полнота после рубки 0,3 и ниже), возобновление идет слабо, на 1 га в среднем имеется 1200 шт. подроста. После сплошных рубок происходит резкая смена условий среды, что приводит к изменению живого напочвенного покрова. В этом случае развитие мощного травяного покрова и сильное задернение почвы препятствуют возобновлению ели.

Возобновление ели протекает в нижней и средней частях елового пояса лучше, чем в верхней, за счет более благоприятных микроклиматических условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асанов С.К., Турдалиев Т.Т., Щербаков В.А.* Горизонтальная структура еловых лесов хребта Нарын-Тоо //Лесоводственные и лесокультурные исследования в Кыргызстане. Бишкек, 2003. С. 5–11.
2. *Асанов С.К.* Естественное возобновление ели тянь-шаньской на вырубках прошлых лет в Нарынской области //Лесоводственные и лесокультурные исследования в Кыргызстане. Бишкек: Илим, 2004. С. 15–19.
3. *Проскуряков М.А.* Горизонтальная структура горных темнохвойных лесов КазССР. Алма-Ата: Наука, 1983. С. 57–87.

УДК 574.24:581.19

ЛИСТВЕННИЦА СИБИРСКАЯ КАК БИОИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Л.В. АФАНАСЬЕВА

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия (afanl@mail.ru)

В работе исследованы элементный химический состав и некоторые физиолого-биохимические показатели хвои *Larix sibirica* в разных функциональных зонах г. Улан-Удэ. На основе индекса толерантности к загрязнению воздуха (APTI) сделан вывод о чувствительности вида к атмосферному загрязнению и возможности его использования в качестве биоиндикатора.

SIBERIAN LARCH AS A BIOINDICATOR OF AIR POLLUTION

L.V. AFANASYEVA

Institute of General and Experimental Biology, SB RAS, Ulan-Ude, Russia (afanl@mail.ru)

The concentrations of chemical elements and some physiological and biochemical parameters in the Siberian larch needles grown in various urban functional zones of Ulan-Ude were investigated. Based on the Air Pollution Tolerance Index Siberian larch should be considered sensitive species to air pollution and can be recommended as bioindicator.

В условиях прогрессирующей урбанизации обостряются экологические проблемы, связанные прежде всего с загрязнением атмосферного воздуха. Промышленные предприятия, теплоэлектростанции и автотранспорт выбрасывают в атмосферу значительное количество вредных соединений, быстро распространяющихся в компонентах городского ландшафта и приводящих к деградации его природной составляющей.

Важная роль в оптимизации городских территорий и уменьшении экологической напряженности принадлежит древесным растениям. Они не только адсорбируют и нейтрализуют значительную часть дисперсной пыли, улучшая тем самым качество городского воздуха, но и обеспечивают комфортные условия для проживания людей. Мониторинг состояния деревьев – это один из наиболее эффективных и дешевых методов оценки качества атмосферного воздуха. При этом решаются сразу две задачи – определение территориального распространения загрязненных воздушных масс и оценка эффекта загрязнения на биоту на основе физиологического состояния. Очень часто в качестве биоиндикаторов используют вечнозеленые хвойные деревья, характеризующиеся высокой чувствительностью к техногенным поллютантам, и гораздо реже – лиственные породы, отличающиеся большей устойчивостью к атмосферному загрязнению.

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb) широко применяется в озеленении городов, особенно расположенных в зоне бореальных лесов. В то же время сведения о ее чувствительности к атмосферному загрязнению достаточно противоречивы. Одни исследователи считают ее пластичным видом, способным адаптироваться к изменяющимся условиям среды [1]; другие, напротив, полагают, что это чувствительный к техногенному воздействию вид, который может быть использован как биоиндикатор [3].

Целью настоящей работы было исследовать элементный химический состав хвои *L. sibirica* в разных функциональных зонах г. Улан-Удэ, а также оценить изменение ряда физиолого-биохимических параметров для определения чувствительности вида к атмосферному загрязнению.

В пределах города были выделены три функциональные зоны, в которых встречаются посадки лиственницы: селитебная (придомовые территории),

транспортная (вдоль автомагистралей) и рекреационная (городские парки и скверы). В каждой зоне для сбора образцов хвои закладывали ключевые участки, а в качестве фоновых рассматривались участки, заложенные в лесах на расстоянии свыше 30 км от города.

На каждом ключевом участке в середине вегетационного периода отбирали хвою из средней части крон с 5–6 деревьев. В лабораторных условиях в сухой хвое определяли содержание химических элементов (N, K, P, S, Fe, Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Co, Cd) общепринятыми методами атомно-абсорбционной спектрофотометрии и фотоколориметрирования. Для определения устойчивости вида к атмосферному загрязнению в свежей хвое определяли концентрацию аскорбиновой кислоты (A), суммы хлорофиллов (T), pH клеточного сока (P), относительное содержание воды в хвое (R) и на основе этих показателей рассчитывали APTI индекс (Air pollution tolerance index) [3] по формуле: APTI=(A(T+P)+R)/10.

Анализ данных по содержанию химических элементов в хвое *L. sibirica* в разных функциональных зонах города показал, что наиболее высокий уровень тяжелых металлов наблюдается в хвое деревьев, растущих вдоль крупных автомагистралей, где содержание кадмия превышало фоновые значения в 7,7 раза, железа – в 6,4, цинка, меди, никеля и свинца – в 3,6–4,4, хрома и кобальта – в 2,7–3,0 раза (табл. 1). В селитебной зоне хвоя в больше степени накапливает серу, повышен также уровень меди, никеля, кадмия, свинца, железа. В рекреационной зоне содержание серы было выше фоновых значений в 1,3 раза, свинца, железа, меди, никеля и кадмия – в 1,4–2,0 раза. При определении биогенных макроэлементов в хвое отмечена тенденция к увеличению их концентрации в городских условиях.

Таблица 1. Содержание химических элементов (мг/кг сухого вещества) в хвое *L. sibirica* в функциональных зонах г. Улан-Удэ и на фоновой территории

Элементы	Функциональные зоны			Фоновая территория
	Селитебная	Транспортная	Рекреационная	
N	**21300±1460**	**23800±2609**	18400±1520	15200±950
P	2298±152	**2638±174**	2056±91	1960±145
K	**5600±434**	**7369±248**	4483±232	4013±321
S	**0,6±0,2**	**0,5±0,1**	**0,4±0,1**	0,3±0,1
Fe	**261±47**	**712±58**	**225±24**	111±18
Zn	10,9±6,2	**53,6±9,8**	13,7±2,4	12,1±2,1
Cu	**5,6±0,9**	**13,3±1,2**	**5,3±0,8**	3,7±0,4
Cr	3,9±0,2	**11,4±0,8**	4,9±0,2	4,2±0,2
Ni	**2,1±0,5**	**5,3±0,2**	**2,4±0,4**	1,3±0,1
Pb	**3,3±0,2**	**5,4±0,4**	**2,6±0,2**	1,4±0,1
Co	0,5±0,1	**1,2±0,1**	0,4±0,2	0,4±0,1
Cd	**0,07±0,01**	**0,23±0,01**	**0,05±0,01**	0,03±0,01
Zbt	**19,8±0,4**	**32,2±0,8**	**9,1±0,1**	-

Примечание. Жирным шрифтом выделены достоверные различия с фоновой территорией при $P<0,05$.

Изменение элементного состава хвои было оценено с помощью индекса биогеохимической трансформации (*Zbt)*, отражающего дисбаланс химических элементов в растениях при техногенной нагрузке. Согласно существующей градации *Zbt*, сильный уровень техногенной трансформации элементного состава хвои отмечается в транспортной зоне, средний – в селитебной, слабый – в рекреационной.

Определение содержания хлорофилла в листьях растений является одним из важных параметров для ранней диагностики их состояния. Обнаружено, что в хвое деревьев на территории города происходит увеличение общего фонда хлорофиллов в

сравнении с хвоей деревьев на фоновых участках (табл. 2). Наиболее высокое содержание хлорофиллов, превышающее фоновое значение в 1,7 раза, было обнаружено в хвое деревьев, растущих вдоль автомагистралей. Рост концентрации хлорофиллов, особенно хлорофилла *b,* может быть связан с активацией защитной системы, направленной на увеличение эффективности использования световой энергии. Достоверное увеличение уровня аскорбиновой кислоты, одного из наиболее важных компонентов антиоксидантной защитной системы растений, отмечено только в хвое деревьев в транспортной зоне. Значимым показателем для роста и физиологической активности растений является относительное содержание воды в хвое. Высокие значения этого параметра свидетельствуют об устойчивости растений к стрессовым условиям. На территории города было отмечено уменьшение относительного содержания воды в хвое деревьев на 11–37 % по сравнению с фоновыми участками, что может быть связано с нарушением процессов транспирации из-за отложения пыли на поверхности хвои. Клеточный сок хвои лиственницы на фоновых участках имеет преимущественно слабокислую реакцию, тогда как на территории города отмечается его незначительное подщелачивание.

Таблица 2. Физиолого-биохимические параметры хвои *L. sibirica* в функциональных зонах г. Улан-Удэ и на фоновой территории

Показатели	Функциональные зоны			Фоновая территория
	Селитебная	Транспортная	Рекреационная	
Общее содержание хлорофилла, мг/г	**2,08±0,04**	**2,46±0,06**	**1,78±0,04**	1.47±0.02
Аскорбиновая кислота, мг/г	0,13±0,02	**0,16±0,01**	0,11±0,01	0,12±0,01
pH	4,16±0,08	**4,38±0,11**	4,02±0,12	3,68±0,10
RWC (%)	65,61±4,42	**53,12±2,45**	68,73±2,68	72,83±3,46
APTI	6,6±0,4	**5,4±0,4**	6,9±1,2	7,3±0,9

Для определения устойчивости *L. sibirica* к атмосферному загрязнению воздуха APTI был рассчитан для каждой функциональной зоны. Как правило, на основе этого индекса исследователи выделяют три категории видов растений: чувствительные (sensitive, APTI≤11), промежуточные (intermediate, APTI 12–16) и устойчивые (tolerant, APTI≥17). На основе проведенных исследований обнаружено, что APTI исследованных деревьев снижается от 7,3 на фоновой территории до 5,4 в транспортной зоне, что позволяет отнести *L. sibirica* к чувствительным видам и рекомендовать ее к использованию в качестве биоиндикатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Романова Л.И.* Структурно-функциональные особенности лиственницы сибирской в зеленых насаждениях г. Красноярска и его окрестностей: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. 24 с.
2. *Prajapati S.K., Tripathi B.D.* Seasonal variation of leaf dust accumulation and pigment content in plant species exposed to urban particulates pollution. // J. Environ. Qual. 2008. 37: 865–870.
3. *Seta-Koselska A., Szczuka E., Skyrzynska-Polit E., Domaciuk M., Gielwanowska I.* Roadside larch trees (Larix Mill.) and its female generative organs as a biomonitor of air pollution // Pol J Environ. Stud. 2014. 23: 867–874.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Структура разнообразия растительного покрова и ресурсный потенциал модельных видов растений в Байкальском регионе» (№ АААА-А17-117011810036-3).

УДК 597.771

ПОЧКОВАЯ ГАЛЛИЦА *DASINEURA ROZHKOVI* MAM. ET NIK. В ГОРОДСКИХ ПОСАДКАХ ЛИСТВЕННИЦ

Ю.Н. БАРАНЧИКОВ[1], Г.А. АВРАМЕНКО[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия (baranchikov_yuri@yahoo.com)
[2] Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Красноярского края», Красноярск, Россия

Особенности биологии лиственничной почковой галлицы *Dasineura rozhkovi* Mam. et Nik. (Diptera, Cecidomyiidae) делают городские насаждения лиственниц идеальным объектом для массового размножения галлообразователя.

BUD GALL MIDGE *DASINEURA ROZHKOVI* MAM. ET NIK. IN URBAN LARCH STANDS

Yu.N. BARANCHIKOV[1], G.A. AVRAMENKO[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (baranchikov_yuri@yahoo.com)
[2] Krasnoyarsk Kray Forest Protection Center – Branch of «Roslesozaschita», Krasnoyarsk, Russia

The features of bud gall midge *Dasineura rozhkovi* Mam. et Nik. (Diptera, Cecidomyiidae) biology make urban larch stands an ideal substrate for outbreak of these insect gallmaker.

Лиственничная почковая галлица *Dasineura rozhkovi* Mam. et Nik. (Diptera, Cecidomyiidae) – важнейший вредитель лесосеменных хозяйств лиственниц на юге Сибири и в северо-восточной Монголии [1]. Вид широко распространен в лиственничниках Южной Сибири, и неудивительно, что вместе с посадочным материалом с плантаций галлица перекочевала в лиственничные посадки городов и населенных пунктов азиатской части России. По нашим данным, галлица заражает лиственницы в таких крупных центрах, как Новосибирск, Томск, Кемерово, Красноярск, Абакан, Иркутск, Улан-Удэ, Якутск, Хабаровск, Магадан. Крупные (до 1 см в высоту) черные от времени и накопленной грязи галлы полностью замещают брахибласты на всех побегах зараженных лиственниц, за исключением побегов текущего и прошлого годов, вызывая активное ветвление, искривление и утяжеление ветвей. Особенно уродливо смотрятся зараженные лиственницы с конца осени до начала лета – почти 8 месяцев в году.

Биология галлиц одинакова на протяжении всего огромного ареала. Вылетевшие в мае [4] из перезимовавших на ветвях лиственниц галлов самки галлицы откладывают яйца в основание начинающих охвоение брахибластов. Отродившаяся через неделю-другую личинка заползает в центр растущего пучка хвоинок и достигает меристематического конуса нарастания вегетативной почки следующего года. Достигнув почки, личинка модифицирует ее морфогенез, вызывая разрастание почки в крупный (до 1 см высотой) галл [1]. До осени личинка питается в галле, проходит 3 возраста, покидает основание галла и зимует в беловатом компактном коконе под внешними чешуйками. Причина этой миграции (и, скорее всего, также и образования излишне крупного галла) – уход от плесневелых грибов, разрастающихся на богатом питательными веществами ложе галла [7]. Ранней весной личинка окукливается в коконе, и через неделю вылетает имаго. Образование развитого галла обычно убивает брахибласт. На сильно зараженном дереве брахибласты не доживают до 3-летнего возраста, и база для образования генеративных почек, таким образом, отсутствует [2, 10].

Биологические механизмы регуляции численности вредителя достаточно хорошо

изучены. Два известных вида перепончатокрылых эктопаразитов личинок галлицы *Torymus isajevi* Zerova et Dolgin (Torymidae) и *Tetrastichus chakassicus* Dolgin et Kostjukov (Eulophidae), а также случайные хищники вызывают незначительную смертность; энтомопатогены у галлицы не обнаружены. Ведущий фактор смертности – неспособность личинок инициировать формирование полноценного галла на устойчивых брахибластах. Причины устойчивости могут быть как морфо-фенологической природы (смыкание кроющих чешуй почек до проникновения в них личинок), так и физиолого-морфогенетические (ингибирование галлообразования). Кроны лиственниц оказались крайне полиморфными по признакам устойчивости к заражению галлицей [1, 5].

Личинка способна образовать полноценный галл лишь на почках, обладающих в момент подхода паразита к тканям меристемы максимально высокой ростактивирующей способностью [8]. Этот период для каждого конкретного брахибласта не превышает 3 дней (обычно – сутки). Достигнув конуса в этот день, личинка сможет вызвать формирование полноценного галла и закончить в нем развитие. Начало воздействия личинки на ткани конуса нарастания на день-два раньше или позже этого срока приводит к формированию недоразвитого галла. Личинка в нем погибает в I–II возрасте спустя несколько недель после начала питания.

Успех образования галлов основывается на синхронизации подхода личинок галлицы к конусам почек и начала процесса дифференциации меристемы конусов [5]. Несовпадение этих сроков более чем на 3–4 дня не позволяет личинкам инициировать галл [3]. В специальной работе нами продемонстрировано, что при аномальных климатических ситуациях подобная асинхронизация с деревом-хозяином может привести к массовой элиминации галлиц в насаждении [9].

Доля недоразвитых галлов зависит от двух основных факторов: времени существования конкретной консорции (индивидуум лиственницы и населяющий его дем галлицы) и степени ее изоляции (скажем, расстоянием) от других консорций [6].

Уровень освоения (заражения) побегов тератами обычно обратно пропорционален проценту недоразвитых терат на данной лиственнице [1, 6]. Таким образом, показатель недоразвитости терат может служить своеобразным мерилом степени адаптации дема галлицы к особенностям дерева-хозяина.

Для галлицы основным фактором отбора внутри локального дема является повышенный полиморфизм почек лиственниц по динамике ростовой активности меристемы конуса нарастания почек брахибластов. Адаптация галлообразователя направлена в сторону заселения максимально возможного числа почек с необходимым уровнем гормональной активности тканей, позволяющих инициировать образование тераты. Достигается это путем сдвига сроков вылета имаго для того, чтобы совпасть по времени с достижением наиболее благоприятной концентрации гормонов роста в большинстве почек на дереве [2, 3].

Оказалось, что адаптация дема галлицы к особенностям биологии «своего» хозяина зачастую исключает нормальное развитие насекомых на почках стоящих рядом деревьев того же вида [1]. Фитофаг относительно быстро адаптируется к особенностям генотипа дерева-хозяина. Экспериментально показано: для того, чтобы в 3–4 раза снизить процент недоразвитых галлов, достаточно обеспечить 5–6 поколений галлицы на изолированных от других демов деревьях [6].

Перечисленные особенности адаптации демов галлицы к индивидуумам деревьев-хозяев обусловливают крайне благоприятные условия развития вредителя в условиях городских посадок лиственницы. Эти, как правило, разреженные древостои паркового типа или длинные шпалеры хорошо освещенных однорядных посадок – идеальные объекты для стремительного освоения крон галлами с гарантией многолетней изоляции

демов вредителя. Относительно стабильная (со сглаженными колебаниями) температура городского ландшафта повышает вероятность совпадения фенологических стадий развития дерева и галлообразователя, а дефицит цветущих нектароносов снижает вероятность дополнительного питания перепончатокрылых – паразитов галлицы. Все это приводит к стабильно высокому (до 90 %) освоению галлами брахибластов лиственниц с гарантированно высоким уровнем отрождения имаго.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баранчиков Ю.Н.* Насекомые-галлообразователи // Исаев А.С. и др. Популяционная динамика лесных насекомых. М.: Наука, 2001. С. 172–181.
2. *Баранчиков Ю.Н.* Изменение интенсивности цветения и сексуализации генеративных почек лиственниц при заражении галлицей *Dasyneura rozhkovi* Mam. et Nik. (Diptera, Cecidomyiidae) // Вестник Томского государственного университета. Сер. «Естественные науки». 2004. Вып. 11. Приложение. С. 99–101.
3. *Баранчиков Ю.Н.* Природа устойчивости лиственниц к воздействию личинок галлицы *Dasineura rozhkovi* Mam. et Nik. (Diptera, Cecidomyiidae) // Экология. 2006. Вып. 4. С. 318–320.
4. *Баранчиков Ю.Н.* Прогноз сроков вылета лиственничной почковой галлицы // Защита и карантин растений. 2007. Вып. 1. С. 38–39.
5. *Баранчиков Ю.Н.* Фенологическая приуроченность этапов морфогенеза вегетативных почек лиственницы сибирской как фактор динамики популяций галлицы *Dasineura rozhkovi* Mam. et Nik. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. СПб.: СПбГЛТА, 2008. Вып. 182. С. 26–35.
6. *Баранчиков Ю.Н.* Скорость обособления демов почковой галлицы в кронах лиственницы сибирской // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. Вып. 16. Т.1. /отв. ред. В.В. Анюшин. Абакан: ФГБОУ «Хакасский гос. университет им. Н.Ф. Катанова», 2012. С. 54–56.
7. *Баранчиков Ю.Н., Гродницкая И.Д.* Роль микробиоты терат в эволюции зоогенных образований лиственничных почковых галлиц // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 196. СПб.: СПбГЛТА, 2011. С. 21–28.
8. *Баранчиков Ю.Н., Малютина В.С.* Рост почек и устойчивость лиственниц к поражению почковой галлицей // Лесоведение. 1987. Вып. 3. С. 39–45.
9. *Баранчиков Ю.Н., Овчинникова Т.М.* Локальные климатические изменения и крах популяций насекомого-галлообразователя // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2011. Вып. 4 (80). С. 89–92.
10. *Баранчиков Ю.Н., Третьякова И.Н., Буглова Л.В.* Генеративный потенциал деревьев лиственницы сибирской, пораженных почковой галлицей // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2009. Вып. 5 (68). С. 134–137.

УДК 630*162.5

КОСМИЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ УГЛЕРОДА ЛЕСОВ РОССИИ: КОНЦЕПЦИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

С.А. БАРТАЛЕВ

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия (bartalev@d902.iki.rssi.ru)

Проект «Космическая научная обсерватория углерода лесов России» направлен на разработку новой системы оценки углерода в лесах России на основе комплексного использования методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, наземных измерений и математических моделей динамики лесов.

SPACE SCIENCE OBSERVATORY OF CARBON IN RUSSIAN FORESTS: PROJECT CONCEPT AND FIRST RESULTS

S.A. BARTALEV

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Russia (bartalev@d902.iki.rssi.ru)

The «Space Science Observatory of Carbon in Russian Forests» project is aimed at development a new system for estimating carbon budget in Russian forests based on integrated use of Earth observation methods, ground-based measurements and mathematical modelling of forest status and dynamics.

Леса России, занимая более 20 % площади лесов мира, играют ключевую роль в углеродном балансе планеты. При этом имеющиеся в настоящее время количественные оценки углеродного бюджета лесов страны варьируют в широких пределах, отличаясь большой неопределенностью [2, 7, 8]. Основной причиной этой неопределенности является отсутствие надежных источников достоверной и регулярно обновляемой в масштабах страны информации о лесах, необходимой для количественной оценки запасов и потоков углерода. Имеющаяся официальная информация о лесах России в значительной степени устарела, а существующая система мониторинга не способна обеспечить регулярное обновление данных об их динамике [3]. С принятием в 2015 году Парижского соглашения, направленного на практическое осуществление положений Рамочной конвенции ООН по изменению климата, проблема повышения объективности, полноты и точности оценки углеродного бюджета лесов приобретает важнейшее значение.

К числу необходимых для оценки углеродного бюджета данных относится распределение земельного покрова по категориям покрытых и непокрытых лесом и другой древесно-кустарниковой растительностью земель, в том числе гарей и погибших насаждений, вырубок, естественных редин, заболоченных земель, а также информация о породно-возрастной структуре и бонитете лесных насаждений [9]. Одновременно необходима информация о масштабах природных (пожары, болезни и вредители, ветровалы, засухи и др.) и антропогенных (рубки, техногенные загрязнения и др.) деструктивных факторов, вызывающих повреждения и гибель лесов, а также ходе процессов их последующего восстановления.

Современные возможности и потенциал развития методов дистанционного зондирования лесов из космоса способны в значительной степени восполнить имеющиеся пробелы в информации о лесах, необходимой для оценки углеродного бюджета в масштабах страны. При этом наиболее целесообразным представляется использование методических подходов, предполагающих тесную интеграцию методов дистанционного зондирования лесов, наземных измерений их качественных и количественных характеристик, а также математических моделей динамики лесных экосистем.

Поддержанный Российским научным фондом в 2019 году проект «Космическая научная обсерватория углерода лесов России» направлен на разработку новой системы оценки углерода в лесах с использованием методов дистанционного зондирования Земли из космоса. Эта система позволит получать актуальные научные данные о современном состоянии лесов России со

значительно меньшим уровнем неопределенности. При этом методы дистанционного зондирования лесов будут тесно интегрированы с данными наземных измерений их характеристик и математическими моделями их динамики.

Разработанные к настоящему времени методы спутникового картографирования растительного покрова позволяют регулярно получать информацию о распределении земельного покрова по категориям покрытых и непокрытых лесом земель, породной структуре и запасах лесов [6]. При этом наличие многолетних (с начала XXI века) временных рядов такого рода данных открывает возможности моделирования динамики лесов для оценки их возрастной структуры и качества условий произрастания. Информация о воздействии пожаров, которую сегодня получают средства ДЗЗ, включает данные о пройденной огнем площади в различных категориях покрытых и непокрытых лесом земель, сведения об интенсивности горения, степени пирогенного повреждения и масштабах гибели лесов, которые позволяют надежно определять прямые и постпожарные эмиссии углерода в атмосферу [1, 4]. Благодаря методам обработки и анализа многолетних временных рядов данных ДЗЗ можно выявлять изменения, которые происходят с лесами под действием различных природных и антропогенных деструктивных факторов: рубок, усыхания, ветровалов и др. Масштабы влияния указанных деструктивных факторов на леса требуют регулярного и максимально полного учета, что позволит повысить достоверность оценки бюджета углерода.

Решение задач проекта предполагает тесное объединение научного потенциала различных ведущих групп российских ученых, работающих в области методов дистанционного зондирования Земли и исследований биогеохимических циклов в наземных экосистемах.

Исследования и разработки в рамках проекта проводятся за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-77-30015) с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А.* Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83–94.
2. *Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н.* Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 1–16.
3. *Лукина Н.В., Исаев А.С., Крышень А.М., Онучин А.А., Сирин А.А., Гагарин Ю.Н., Барталев С.А.* Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами // Лесоведение. 2015. № 4. С. 243–254.
4. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров в XXI веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175.
5. *Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А.* Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
6. *Спутниковое* картографирование растительного покрова России / С.А. Барталев, В.А. Егоров, В.О. Жарко, Е.А. Лупян, Д.Е. Плотников, С.А. Хвостиков, Н.В. Шабанов. М.: ИКИ РАН, 2016. 208с.
7. *Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Малышева Н.В.* Новые аспекты оценки поглощения парниковых газов лесами России в контексте Парижского соглашения об изменении климата // Лесохозяйственная информация. 2017. № 1. С. 88–98.
8. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г.* Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.
9. *Экологические* проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих, С.П. Титов, А.И. Уткин, А.А. Голуб, Д.Г. Замолодчиков, А.А. Пряжников. М.: Центр экологической политики, 1995. 156 с.

УДК 631.4

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ И ЕГО СВОЙСТВА В РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗОЛООТВАЛОВ

И.П. БЕЛАНОВ[1], О.А. САВЕНКОВ[1], Н.В. ШЕРЕМЕТ[2], Н.Б. НАУМОВА[1]

[1] Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия (bel_ivan@rambler.ru)
[2] Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия (nsheremet@yandex.ru)

Исследования почвенного покрова регенерационных экосистем, сформированных на зольном материале (1 секция) и на отсыпанных поверх золошлакового материала потенциально плодородных породах (ППП, 2 секция) золоотвала ТЭЦ-5 г. Новосибирска, позволили установить, что на поверхности обеих секций формируется катенарный комплекс – последовательность типов эмбриоземов по склону, закономерно сменяющих друг друга. В ходе исследований показано, что литогенный потенциал лессовидного суглинка, нанесенного поверх золы, гораздо выше, чем у золы в чистом виде вне зависимости от положения в рельефе и степени увлажненности. Так за одинаковый промежуток времени (9 лет) при отсыпке ППП сформировались типы эмбриоземов более высокого эволюционного порядка.

THE SOIL COVER AND ITS PROPERTIES IN THE REGENERATION OF THE ECOSYSTEMS POST-INDUSTRIAL LANDSCAPES OF ASH DUMPS (RUSSIA, NOVOSIBIRSK)

I.P. BELANOV[1], O.A. SAVENKOV[1], N.V. SHEREMET[2], N.B. NAUMOVA[1]

[1] Institute of soil science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia (bel_ivan@rambler.ru)
[2] Central Siberian Botanical garden SB RAS, Novosibirsk, Russia (nsheremet@yandex.ru)

The study of regenerating ecosystems developing on ash dump material under natural revegetation (1st series) and on the potentially fertile subsoil material (PFM, 2nd series), laid over terminated ash dump of the thermoelectric station No. 5 in Novosibirsk (Russia) found a developing catenary complex, i. e. a regular chain of embryozems forming along a slight slope.

Ежегодно российская энергетика производит не только электроэнергию и тепло, но и около 27 млн тонн золошлаковых отходов. Сегодня накопленный объем отходов теплоэнергетики в России достигает порядка 1,5 млрд тонн, а площадь золоотвалов превышает 20 тыс. гектаров. В Новосибирской области площадь территорий, занятых под золоотвалы, составляет более 1000 га, а количество накопленных в них золы и шлаков приближается к 30 млн тонн. Существуют и уже отработанные золоотвалы, которые требуют консервации или рекультивации, направленной на восстановление почвенно-экологических функций поверхностного слоя гидроотвалов.

В качестве объекта для исследования регенерационных экосистем постиндустриальных ландшафтов нами был выбран золоотвал № 1 ТЭЦ-5 г. Новосибирска, по существу, состоящий из двух самостоятельных частей, расположенных уступом одна над другой (далее называемых секция 1 и секция 2). Эксплуатация гидроотвалов была прекращена в 2008 году, до 2010 года для снижения пыления на поверхности постоянно поддерживалось зеркало воды.

При описании почвенного покрова, сформировавшегося на поверхности золоотвала, использовали классификацию почв техногенных ландшафтов, разработанную В.М. Курачевым и В.А. Андрохановым [1]. Определение представленных свойств почв проводили общеизвестными методами.

Материнская порода секции 1 представлена зольным материалом. С учетом особенностей рельефа этого техногенного объекта были выделены три модельных площадки. Каждая из площадок приурочена к приустьевой, основной и ядерной зонам седиментации, формирующим катену. Уклон сформирован от приустьевой к ядерной зоне, понижение составляет в среднем 30–50 см на каждые 100 метров. Причиной формирования данных зон и

определяющими их протяженность выступают гравитационные силы, воздействующие на осаждение тяжелых частиц в поступающей в гидроотвал пульпе с последующим забором технической воды из пруда-отстойника при замкнутом цикле.

Приустьевая зона секции 1 соответствует трансэлювиальной позиции. Почвенный покров данного участка представлен эмбриоземом инициальным (60 %) и эмбриоземом органо-аккумулятивным (40 %). На поверхности сформировалась открытая растительная группировка – разнотравно-вейниковая с облепихой крушиновидной (*Calamagrostis epigeios* + *Berteroa incana* + *Artemisia vulgaris* – *Hippophaë rhamnoides*).

Гранулометрический состав эмбриоземов – легкий суглинок, содержание частиц менее 0,01 мм – 21,2–23,5 %. Реакция почвенного раствора сильнощелочная, $pH_{вод}$ от 8,02 до 8,83. Влажность в течение вегетационного сезона в корнеобитаемом слое 0–20 см варьировала от 6,3 % до 9,5 %. Горизонт C_1 уплотнен до 0,9 г/см^3, горизонт C_2 характеризуется уплотнением до 1,3 г/см^3. Общая порозность составляет 49,2–63,8 %.

Основная зона первого золооотвала соответствует трансаккумулятивной позиции. Почвенный покров данного участка представлен эмбриоземом органо-аккумулятивным (70 %) и эмбриоземом дерновым (30 %). На данном участке сформировался доннико-вейниковый фитоценоз (*Calamagrostis epigeios* + *Melilotus albus*).

Гранулометрический состав эмбриоземов – легкий суглинок, содержание частиц менее 0,01 мм – 23,6–25,1 %. Реакция почвенного раствора сильнощелочная, $pH_{вод}$ от 8,28 до 8,65. Корнеобитаемый слой 0–20 см сохранял влажность 27–32 % в течение всего вегетационного периода. Высокое содержание влаги, на наш взгляд, объясняется отсутствием дренажа в теле отвала, а также присутствием на глубине около 1,5–2 м водоупорного плотного горизонта из цементированного зольного материала, что выявлено методом бурения. Горизонт C_1 рыхлый, плотность до 0,9 г/см^3, горизонт C_2 характеризуется слабым уплотнением до 1,2 г/см^3. Порозность меняется от 78 % до 50 % вниз по профилю.

Ядерная зона секции 1 соответствует супераквальной позиции. Почвенный покров данного участка на 100 % представлен эмбриоземом дерновым глеевым. На поверхности сформировался тростниково-вейниковый фитоценоз (*Calamagrostis epigeios* + *Phragmites australis*).

Гранулометрический состав верхних горизонтов эмбриозема – средний суглинок, содержание частиц менее 0,01 мм – 32,1–38,0 %, вниз по профилю отмечается его утяжеление за счет содержания глинистых частиц до 44 %. Реакция почвенного раствора сильнощелочная, $pH_{вод}$ от 8,23 до 8,93. В течение вегетационного периода наблюдали избыточную влажность в слое 0–20 (более 32 %). Горизонт $A_д$ рыхлый, плотность до 0,4–0,7 г/см^3, горизонт C_1 характеризуется уплотнением до 1,2 г/см^3. Общая порозность меняется от 60 % до 45 % вниз по профилю.

На территории 2 секции золоотвала также были выбраны площадки, привязанные к зонам седиментации: приустьевая, основная и ядерная. Поверхность секции 2 отсыпана в зимний период 2010 года потенциально плодородными породами (ППП), лессовидным суглинком поверх золошлакового материала мощностью от 30 до 60 см, и выположена с учетом изначального уклона, образованного при формировании золоотвала. Уклон сформирован от приустьевой к ядерной зоне, понижение составляет в среднем 30–50 см на каждые 100 метров. Таким образом, во втором случае в качестве материнской породы выступает слой потенциально плодородной породы, обладающий более высоким литогенным потенциалом по сравнению со золошлаковой смесью. На описываемой территории также происходит естественный процесс самозарастания.

Приустьевая зона секции 2 соответствует трансаккумулятивной позиции; почвенный покров в данной позиции на 100 % представлен эмбриоземом органо-аккумулятивным. В данной зоне сформировался злаково-бобово-разнотравный фитоценоз (*Phleum pratense* L. +*Trifolium hybridum* +*Achillea millefolium* L.).

Гранулометрический состав горизонта C_1 – средний суглинок, содержание частиц менее 0,01 мм – около 34,5 %. Реакция почвенного раствора суглинистого горизонта слабощелочная, $pH_{вод}$ 7,82–8,07. Горизонт C_2, сформированный зольным материалом, характеризуется сильнощелочной $pH_{вод}$ (8,65 ед.). Влажность в корнеобитаемом горизонте весной и в начале летнего периода варьировала от 10 % до 16 %, в засушливый период вегетационного сезона (середина июля – август) наблюдалось ее снижение до 8 %. Горизонт C_1 плотный, плотность сложения варьирует: 1,3–1,5 г/см^3, горизонт C_2 характеризуется уплотнением до 1,2 г/см^3. Общая пористость изменяется от 59 % до 37 % вниз по профилю.

Основная зона секции 2 соответствует трансэлювиальной позиции, почвенный покров в данной позиции на 100 % представлен эмбриоземом дерновым. К настоящему времени сформировался разнотравно-клеверово-полевицевый с кустами облепихи и ивы фитоценоз.

Гранулометрический состав горизонта $A_д$-C_1 – средний суглинок, содержание частиц менее 0,01 мм – около 36,8 %. Реакция почвенного раствора слабощелочная, $pH_{вод}$ от 7,53 до 7,90. Горизонт C_2, сформированный зольным материалом, характеризуется сильнощелочной $pH_{вод}$ (8,75 ед.). Влажность в корнеобитаемом горизонте весной и в начале летнего периода варьировала от 12 % до 16 %, в засушливый период вегетационного сезона (середина июля – август) наблюдалось ее снижение до 12 %. Горизонт $A_д$-C_1 уплотнен, плотность сложения – 1,2–1,6 г/см^3, горизонт C_2 характеризуется уплотнением до 1,2 г/см^3. Общая пористость изменяется от 62 % до 34 % вниз по профилю.

Ядерная зона секции 2 соответствует супераквальной позиции, почвенный покров в данной позиции представлен эмбриоземом грубогумусово-аккумулятивным глеевым. Сформировался клеверо-полевицевый фитоценоз.

Гранулометрический состав горизонтов $A_д$-A_1-C_1 эмбриозема характеризуется как средний суглинок, содержание частиц менее 0,01 мм – около 37,5–38,7 %. Реакция почвенного раствора нейтральная, $pH_{вод}$ варьирует от 6,67 до 6,86. В горизонте C_{2g} отмечается утяжеление грансостава до тяжелосуглинистого, содержание частиц менее 0,01 мм – около 41,1–42,5 %. Характеризуется длительным застоем влаги. Горизонт C_3 сформирован зольным материалом, $pH_{вод}$ слабощелочная (7,75 ед.). Влажность в корнеобитаемом горизонте весной и в начале летнего периода варьировала от 22 % до 25 %, в засушливый период вегетационного сезона (середина июля – август) наблюдалось ее снижение до 18 %. В горизонте $A_д$-C_1 плотность сложения 0,9–1,2 г/см^3, горизонт C_2 характеризуется уплотнением до 1,4 г/см^3. Горизонт C_3 имел плотность 0,9 г/см^3. Общая пористость изменяется от 62 % до 46 % вниз по профилю.

Из описания почвенного покрова двух катенарных комплексов, формируемых на зольном материале (секция 1), и отсыпки потенциально плодородным слоем (секция 2) можно предположить, что за одинаковый период времени (9 лет) на территории секции 2 сформировались типы эмбриоземов более высокого эволюционного порядка. Следует отметить, что почвенный покров в каждой из зон катены при отсыпке ППП однороден, в то время как на зольном материале наблюдается мозаичность. В то же время из-за дефицита влаги в том и другом случае отмечается следующая закономерность: автономное положение в катене занимает эволюционно менее развитый тип эмбриозема, по степени роста увлажненности и увеличения подчиненности по положению в рельефе эволюционный порядок типа почвы увеличивается. Основные физические и физико-химические свойства описанных почв характеризуются, прежде всего, начальными литогенными свойствами материнских пород, но, тем не менее, по мере развития биогеоценозов наблюдается их трансформация.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Новосибирской области в рамках проекта № 18-44-540002 р_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Курачев В.М., Андроханов В.А.* Классификация почв техногенных ландшафтов // Сиб. экол. журн. 2002. № 3. С. 225–261.

УДК 582.475.(635.975)

ЗЕЛЕНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ ПРИИССЫККУЛЬЯ И ОТБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ

Ш.Б. БИКИРОВ[1], А.Ш. БИКИРОВА[2], Н.К. УМЕТАЛИЕВНА[1], Б.Б. АШЫРОВА[1]

[1] НПЦ ИЛ им. П.А. Гана Института биологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан (bikirov47@gmail.com)
[2] Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова, Каракол, Кыргызстан (bikirovaaynura@gmail.com)

В статье исследуются малоизвестные виды вечнозеленых хвойных растений – наиболее ценных и декоративных объектов садово-паркового искусства, которые необходимо рекомендовать для озеленения курортной зоны озера Иссык-Куль и населенных пунктов Кыргызстана.

GREEN PLANTS OF PRIISSYCCULES AND SELECTION OF PERSPECTIVE PLANTS FOR GREENING

Sh.B. BIKIROV[1], A.Sh. BIKIROVA[2], N.K. UMETALIEVA[1], B.B. ASHYROVA[1]

[1] Scientific and production center for the study of forests after P.A. Gan of the Biology institute of the National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic (bikirov47@gmail.com)
[2] Issyk-Kul State University K. Tynystanova, Karakol, Kyrgyz Republic (bikirovaaynura@gmail.com)

The article provides little-known species of evergreen conifers with the most valuable and decorative in landscape art, which should be recommended in gardening of the resort area of Issyk-Kul lake and settlements of Kyrgyzstan.

В озеленительных посадках встречаются прошедшие соответствующие испытания и рекомендованные для использования экзоты. К ним относятся не только иноземные, но и местные породы, выращиваемые за пределами их естественного ареала. Во многих случаях экзоты имеют явные преимущества перед местными лесообразующими породами в быстроте роста, качестве древесины, декоративности и используются для повышения продуктивности лесов. В нашей республике накоплен опыт по выращиванию древесных пород-экзотов из разных стран, преимущественно североамериканского происхождения, которые показали лучшие результаты при их испытании в лесных культурах и озеленении городов и курортной зоны озера Иссык-Куль.

На берегу оз. Иссык-Куль в 15 км от г. Чолпон-Ата расположен дендропарк «Кара-Ой». На голом чистом песке на площади около 40 га создан уникальный парк из 267 видов и форм деревьев и кустарников местных и иноземных пород. Здесь производятся испытание и отбор декоративных деревьев и цветущих кустарников для озеленения курортной зоны Прииссыккулья. В настоящее время высота отдельных видов достигла 20–25 м. Ниже приводятся некоторые перспективные древесные породы, прошедшие испытания в дендрологическом парке «Кара-Ой» Иссык-Кульской области [1, 2].

Лжетсуга Мензиса – *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, или дугласия. Первооткрывателем дугласии считается шотландский натуралист А. Мензис, который в 1871 году обнаружил в Канаде насаждения этой породы. На родине дугласия произрастает в больших массивах, образует чистые и смешанные насаждения с такими породами, как тсуга канадская, туя гигантская, ель ситхинская, сосна веймутова, пихта бальзамическая и другими, занимая плодородные суглинистые, а также подзолистые почвы. Самые выдающиеся экземпляры дугласии на побережье Тихого океана в возрасте 200 лет достигают высоты 100–115 метров, а диаметра на высоте груди – до 4,6 метра. Считается, что максимальный возраст деревьев дугласии – около 700 лет,

однако отдельные экземпляры доживают до 1400 лет. Дугласия – быстрорастущая хвойная порода, деревья поднимаются в горы до 1000–2250 м и растут даже на высоте 3350 м. Крона ширококонусовидная, пирамидальная с почти горизонтально отходящими ветвями и очень толстой, гладкой, со смоляными включениями корой. Хвоя длиной до 4 см, серповидно изогнутая, заостренная, растет двумя рядами, с двумя беловатыми устьичными полосками с нижней стороны. Она расположена двурядно и держится на побегах до 9 лет. Деревья однодомные, раздельнополые. Размер шишек достигает 7–10 см, они висячие, видны кроющие чешуи, вес 1000 семян – 7–15 г. Кора у молодых деревьев гладкая, затем она покрывается коричневой коркой с продолговатыми трещинами. Дугласия светолюбивее, чем ель и пихта, к почве сравнительно малотребовательна. Продолжительную засуху и ветры переносит плохо. По устойчивости в городских условиях уступает ели колючей, но более устойчива, чем ель обыкновенная. По морфологическим признакам различают три основные разновидности, по цвету хвои – зеленую, серую, сизую. Началом разведения дугласии в Европе считается 1827 год. В дальнейшем растение получило широкое распространение благодаря долговечности, хорошему качеству древесины и высокой производительности породы. Дугласия отличается морозо- и засухоустойчивостью, однако на сухих, песчаных, каменистых и болотистых почвах рост ее замедляется. Культуры дугласии в Кыргызстане начали закладываться с 1954 года 2-летними сеянцами, выращенными в питомнике на высоте 2000 м. В настоящее время эти культуры достигли высоты более 17 м, диаметра 28 см. В дендропарк «Кара-Ой» завезены из Аксуйского лесного опытного хозяйства в 1974 году крупномерными саженцами. Сейчас посадки чувствуют себя хорошо и дают до 0,5 м ежегодного прироста. Высота деревьев до 18 метров, диаметр на высоте груди – до 30 см в возрасте 25 лет. Урожайность шишек средняя, ежегодная. Вегетация начинается во второй половине апреля, опыление – в первой-второй декаде мая. Благодаря нежной ярко-зеленой хвое, широкой кроне и мощному развитию всего дерева это одна из наиболее декоративных хвойных пород. Дугласия может быть использована в групповых посадках, аллеях и в виде одиночных деревьев, а также как защитное насаждение.

Кипарис аризонский – *Cupressus arizonica* L. Это хвойное растение семейства кипарисовых. Вечнозеленое однодомное дерево достигает 30 м в высоту. В диком виде растет в США, на северных склонах гор Аризоны и в засушливых районах Мексики, на высоте 1500–2000 м над уровнем моря. Это красивое оригинальное дерево с конусовидной, иногда закругленной на вершине кроной, чешуевидной сизо-зеленой или голубоватой хвоей, тонкой красно-коричневой трещиноватой корой. Шишки округлые, с мутовчатыми чешуями, созревают на второй год. Семена многочисленные, плоские, крылатые.

Кипарис аризонский относится к числу более морозоустойчивых видов кипарисов и выдерживает кратковременное понижение температуры до -26 °С. Встречаются декоративные формы – размножают их семенами, черенками и прививкой. Древесина тяжелая и твердая, стойкая к воздействию древоточцев. Ее используют для подземных и подводных сооружений, а также в производстве красивой мебели и поделок. Хвоя обладает фитонцидностью, из нее получают эфирное масло, применяемое в медицине. Впервые в Кыргызстане кипарис аризонский выращен на Ак-Терекском опорном пункте в поясе орехово-плодовых лесов на высоте 1700 м. В возрасте 50 лет высота деревьев составила 25 м, а диаметр 44 см. Наблюдается ежегодное обильное плодоношение, семена имеют хорошую всхожесть. Выращенные из семян экземпляры посажены в дендрологическом парке «Кара-Ой» в Иссык-Кульском районе, где в возрасте 37 лет достигли высоты 7,9 м. Плодоносят каждый год. Кипарис аризонский – украшение парков, скверов и зеленых зон, он не требует стрижки, хорошо сохраняя

естественную форму кроны. Является одной из ценнейших древесных пород, но пока мало применяется в озеленении городов и сел нашей республики.

Ель колючая – *Picea pungens* Engelm. Это дерево в 25–45 м высотой с диаметром ствола до 120 см. Родина ели колючей – Северная Америка (Скалистые горы в Колорадо и восточном Айдахо). Встречается на высоте 2000–3000 метров над уровнем моря одиночно или группами вдоль рек; на большой высоте растет вместе с елью Энгельмана и пихтой субальпийской. В Европу завезена в культуру в середине XIX века, в Никитском саду – с 1858 года. Отсюда ель распространилась в другие районы и в настоящее время встречается в озеленении повсеместно. Теневыносливая, морозостойкая, газодымостойкая, страдает от сильных ветров из-за поверхностной корневой системы. Можно пересаживать с комом во взрослом состоянии. Крона конусовидная, с горизонтальными ветвями. Кора серовато-коричневая, почки крупные, конусовидные или округлые; чешуи их загнуты назад. Хвоя сильно колючая, 2–3 см длиной, зеленая, голубовато-зеленая или сизо-голубая. Шишки с тонкими, гибкими, по краю волнисто-зубчатыми чешуями, 5–10 см длиной, после опадения семян висят обычно до осени следующего года. Всхожесть семян сохраняется несколько лет. Вес 1000 семян – 4–5 г. Ель колючая не страдает от заморозков и благодаря позднему началу вегетации мирится с засухой. Не переносит заболоченных почв. Живет 400–600 лет. При густой посадке живые изгороди не страдают от животных благодаря сильно пахнущей колючей хвое. В Бишкеке (Фрунзе) впервые введена восьмилетними саженцами в 1956 году. В Аксуйском лесоопытном хозяйстве – с 1956 года. Первые экземпляры выращены из семян. В дендропарк введена 9-летними саженцами из Аксуйского ЛОХ в 1967 году. Высота отдельных экземпляров в возрасте 35 лет достигла более 13 метров, диаметр на высоте груди – более 29 см. Длина хвои в зависимости от условий года колеблется от 12,0±0,08 до 16,2±0,12 мм. На дереве хвоя держится 8–9 лет. До настоящего времени ель колючую размножали вегетативным способом (черенками). В 1989 году в дендропарке получены всхожие семена вследствие появления мужских спорангиев. Семеношение в основном ежегодное, урожайные годы через 2–3 года. Средняя длина шишек достигает примерно 8 см, ширина – 2,3 см, вес – более 8 г. Количество семян – более 250 шт. Всхожесть ели невысокая, содержание пустых семян колеблется до 80 %. Черенки, укореняющиеся в культивационном сооружении (парнике) с распылителями, дали высокий процент укореняемости – до 80 %. Вегетация начинается в конце апреля – начале мая, интенсивный рост наблюдается в июле, продолжительность роста побегов – 40–50 дней. Цветет во второй декаде мая. После опыления начинается интенсивный рост шишек, и во второй половине августа созревают семена. Раскрытие шишек в сухую жаркую погоду протекает быстро. В настоящее время ель размножается семенами, а ценные формы – черенками. Встречаются формы с зеленой, голубой, синей и серебристо-белой хвоей, а также молодыми зелеными и светло-розовыми шишками. Благодаря этому ель колючая считается самой декоративной из всех елей. Применяется для создания групп, солитеров, живых изгородей, а также в озеленении промышленных предприятий как источник фитонцидов.

Ель канадская, или белая – *Picea canadensis* Britt. Это порода из Северной Америки, достигающая 20–35 м в высоту при диаметре ствола 60–129 см, с густой конусовидной плотной кроной и пепельно-коричневой корой. Хвоя сизоватая, притупленная, со своеобразным запахом при растирании, живет 5–10 лет. Продолжительность жизни ели – 300–500 лет. К почве нетребовательна, довольно зимостойка и газоустойчива, не страдает от снеговала. Имеются формы с разной окраской хвои и быстрорастущие узкокронные формы. В дендропарк посажена шестилетними деревцами из Аксуйского лесного опытного хозяйства в 1968 году. Ель

канадская в возрасте 2 лет имела высоту 2,3 метра, диаметр ствола на высоте груди 2,6 см, диаметр кроны 1,2 м и прирост в 22 см. Длина хвои колеблется от 9,9 до 10,7 мм. Имеются посадки 1972 года из Алма-Атинского ботанического сада восьмилетними саженцами с комом земли на корнях. Посадка производилась на луговых песчаных почвах. В условиях дендропарка ель канадская семеносит ежегодно. Шишки мелкие, длиной 49,7±0,84 мм, ширина их 11,5±1,07 мм, вес шишек – 1,18±0,14 г. Количество семян в них – 125,8±1,10 штук. Размножается посевом семян. Обладая красивой конусовидного типа кроной, нежной окраской хвои, ель канадская пригодна для озеленения Иссык-Кульского курортного района.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бикиров Ш.Б.* Научные основы сохранения и восстановления пихтовых лесов Западного Тянь-Шаня. Бишкек: Полиграфбумресурсы, 2011. 396 с.
2. *Снятков С.Н.* Опыт интродукции деревьев и кустарников в Прииссыккулье. Фрунзе: Илим, 1979. 139 с.

УДК 634.94 (575.22)

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ОРЕХОВО-ПЛОДОВЫХ ЛЕСОВ ЗАПАДНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Ш.Б. БИКИРОВ, Ы. ЖУМАГУЛ КЫЗЫ

НПЦ ИЛ им. П.А. Гана Института биологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан
(bikirov47@gmail.com)

В статье приводится комплексное решение проблем предотвращения деградации, а также сохранения биоразнообразия орехово-плодовых лесов Западного Тянь-Шаня с разработкой новых методов хозяйствования и управления.

BIODIVERSITY OF NUT-FRUIT FORESTS OF THE WESTERN TIAN SHAN

Sh.B. BIKIROV, Y. JUMAGUL KYZY

Scientific and production center for the study of forests after P.A. Gan of the Biology institute of the National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic
(bikirov47@gmail.com)

The article provides a comprehensive solution to the problems of preventing the degradation and preservation of the biodiversity of the walnut-fruit forests of the Western Tian Shan with the development of new methods of management.

По склонам Ферганского и Чаткальского хребтов произрастают уникальные, единственные в мире по площади орехово-плодовые леса. Это своеобразный природный ботанический сад с большим набором древесных и кустарниковых пород и разнообразием форм, являющихся богатейшим генетическим фондом для селекции. Общая площадь насаждений – 610,0 тыс. га. Ореховые леса сильно изрежены, средняя их полнота составляет около 0,4, преобладают насаждения низких бонитетов, а высокопроизводительные насаждения (I бонитет) составляют всего 14 %. Это явилось результатом нерационального ведения хозяйства в прошлом: неограниченного выпаса скота, хищнических выборочных рубок, заготовки капа.

Грецкий орех – ценное плодовое дерево. Общеизвестны его вкусные и высокопитательные плоды, являющиеся сырьем для пищевой промышленности. Также он дает отличную древесину. Насаждения грецкого ореха должны находиться под охраной, необходимо ухаживать за ними, повышать их продуктивность. Орех грецкий следует широко вводить в культуры во всех районах, где он может произрастать. В хороших условиях орех начинает плодоносить с 6–19 лет. С хорошо развитого дерева можно собрать от 100 до 300 кг орехов. Но, к сожалению, в целом урожайность ореховых лесов пока оставляет желать много лучшего: от 6–13 до 350 кг с одного гектара. Кроме того, урожайные годы чередуются с мало- и неурожайными.

Современное состояние ореховых лесов продолжает оставаться неудовлетворительным, что указывает на необходимость изменения способов ведения хозяйства, перехода к более интенсивному использованию растений. Это в основном искусственное разведение грецкого ореха, создание промышленных плантаций из лучших сортов и форм, в том числе и скороплодных.

Ценным орехоплодным деревом является фисташка. Она служит источником многих ценных для промышленности видов сырья: смолы, дубильных и красильных веществ. Особенно ценными являются плоды – орехи. Обладая высокими вкусовыми качествами и большой питательностью, они заслуженно пользуются большой популярностью. Фисташники представлены редколесьем, средняя их полнота – 0,32. Площадь фисташников в республике составляет 23 тыс. га, насаждения в основном порослевые, средний возраст 40–50 лет. Урожайность фисташки низкая, с одного куста

можно собирать до 1 кг, редко 2–3 кг. Между тем отдельные деревья дают до 12–15 кг сухих орехов. Урожай бывает, как правило, через год, что связано с периодичностью плодоношения и жесткостью лесорастительных условий.

Современное состояние фисташников крайне неудовлетворительно из-за постоянного многовекового антропогенного пресса. Они всегда были местом выпаса скота (в основном овец), что привело к полному нарушению их гидрологических и защитных функций. Фисташка, засухоустойчивая порода, может расти там, где не выращиваются никакие другие плодовые деревья. Для получения максимального урожая плодов насаждения фисташки создаются по типу садовых, и для них должны отводиться самые хорошие участки. Если же насаждения создают с целью укрепления эродированных склонов, то для фисташки отводят любые участки, в том числе на сильно смытых южных склонах.

В лесном поясе орехово-плодовых лесов на площади около 15 тыс. га произрастает дикая яблоня. Если ореховые леса растут на склонах северных и близких к ним экспозиций, то яблонники, произрастая совместно с ними, увеличивают их почвозащитное и гидрологическое значение. Следует отметить еще одну плодовую породу – алычу, или горную сливу. Она произрастает повсеместно по всему поясу орехово-плодовых лесов, являясь компонентом яблонников, растет под пологом орехового леса и в кустарниковых зарослях. Здесь следует отметить, что плодовые насаждения, сформированные яблоней, алычой, боярышником и другими растениями, часто недооцениваются. Очень много плодов (до 50 %) остается в лесу из-за неорганизованности их сбора. Все эти насаждения запущены и захламлены, а рубки прошлых лет и выпас скота значительно снизили их урожайность и ухудшили санитарное состояние.

Особо следует отметить то, что пояс орехово-плодовых лесов является исключительно благоприятным районом для создания промышленных фруктовых садов из яблони, груши, сливы (преимущества – климатические условия, длительность безморозного периода, обилие атмосферных осадков, позволяющих выращивание без орошения). Весьма велико и ландшафтное значение орехово-плодового массива. Но, несмотря на огромную ценность орехово-плодовых лесов, более 40 % их площади находилось в долгосрочном пользовании в качестве пастбищ с нерегулируемым выпасом скота и большой пастбищной перегрузкой, что привело к нарушению гидрологических и защитных свойств насаждений. В результате этого в регионе часто формируются селевые потоки, оползни и наводнения, наносящие огромный материальный ущерб хозяйствам и населению в долинах.

В концепции развития лесного хозяйства Кыргызстана вводится новое положение о создании коллекционно-маточных насаждений из наиболее ценных форм для сохранения и дальнейшего использования их в селекционной работе. Поэтому предлагается незамедлительно начать работу по отбору в естественных насаждениях внутривидовых хозяйственно ценных форм. Это позволит выявить и сохранить основные генотипы ценных популяций, где они еще имеются, использовать их для закладки постоянных и временных лесосеменных насаждений. При этом возможно выделение специальных маточных, идентифицированных или коммерческих лесосеменных насаждений. После испытания потомства их можно переквалифицировать в группы элитных. Необходимо также выделение резерватов генетического фонда, имеющих весьма ценные биологические свойства: их следует зарегистрировать в списке семеноводческих насаждений и обеспечить заготовки семян, сохранение их от неблагоприятных воздействий и охрану. Лесосеменные насаждения выделяются в естественных и искусственных популяциях, если они имеют отличные генетические свойства и удовлетворяют критерию лесосеменного материала:

желательно, чтобы площадь участка была не менее 5 га. Учитывается также его доступность для сбора урожая. Участок леса должен быть однородного фенотипа, среднего и спелого возраста, деревья – хорошего качества, высокой продуктивности, устойчивыми к вредителям и болезням.

В связи с тем, что в лесах Кыргызстана сосредоточены значительные запасы плодово-ягодного сырья, необходимо принимать меры по значительному расширению заготовок государственными организациями, а также по правильному использованию и воспроизводству растений, дающих плоды, повышению их урожайности. В орехово-плодовых лесах надо вести работы по хозяйственному освоению дикорастущих плодовых насаждений, организовывать лесосады, производить прививку к дичкам отобранных хозяйственно ценных форм и культурных сортов. Большое количество плодово-ягодных пород вводится в защитные и овражно-балочные насаждения, они нужны для создания плодово-ягодных садов и плантаций. Кроме этого, их необходимо использовать в защитных лесных полосах вдоль дорог, при создании садов пришкольных и оздоровительных учреждений.

Рациональное ведение лесного хозяйства невозможно без выяснения закономерностей лесовосстановительных процессов. Использование сил природы, способности леса восстанавливаться естественным путем имеет огромное значение. Поэтому в тех случаях, когда можно достигнуть естественного возобновления хозяйственно ценных пород, можно ориентироваться на данный способ. В тех лесорастительных условиях, где удовлетворительное естественное возобновление обеспечить нельзя или где оно требует длительного времени, прибегают к искусственному возобновлению – лесным культурам.

Перед лесным хозяйством стоит задача постепенного перехода к лесовосстановлению и лесоразведению только с использованием улучшенных и сортовых семян. Для этого необходимо систематически осуществлять мероприятия по значительному улучшению лесосеменного дела. В числе этих мероприятий одно из первых мест занимает селекционная оценка насаждений с целью выявления плюсовых насаждений и деревьев, сохранение их для использования семян и черенков с целью создания лесосеменных плантаций.

УДК 582.475.2(575.22)

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ЗАПАДНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Ш.Б. БИКИРОВ, Г.Н. КАЛЫКОВА

НПЦ ИЛ им. П.А. Гана Института биологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан
(bikirov47@gmail.com)

В статье приводится краткая характеристика современного состояния хвойных лесов Западного Тянь-Шаня. Указываются местопроизрастание, занимаемые территории, основные таксационные показатели, состав древесно-кустарниковой и травянистой растительности.

BIODIVERSITY OF CONIFEROUS FORESTS OF THE WESTERN TIAN SHAN

Sh. B. BIKIROV, G.N. KALYKOVA

Scientific and production center for the study of forests after P.A. Gan of the Biology institute of the National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic
(bikirov47@gmail.com)

The article provides a brief description and current state of coniferous forests of the Western Tian Shan. Specify the locus, the occupied territories, the major inventory indices, the composition of wood-shrub and herbaceous vegetation.

Формации пихтовых лесов Западного Тянь-Шаня являются единственными в мире эндемичными насаждениями из пихты Семенова. Доминант пихтовых лесов – *Abies Semenovii* Fedtsch. – занесен в Красную книгу Кыргызстана. Они выполняют большую водорегулирующую, водоохранную, почвозащитную и противоселевую роль, имеют большое познавательное значение как реликт, сохранившийся с ледникового периода. Пихта Семенова впервые была описана профессором Б.А. Федченко в 1898 году на территории Кыргызстана в ущельях Беш-Таш Таласского хребта. Эти леса сформировались на базе элементов третичного комплекса хвойных и хвойно-широколиственных лесов. Они вычленились из состава алтайских хвойных лесов в результате тянь-шаньского разрыва. Их ареал приурочен к Западному Тянь-Шаню, Чаткальскому, Таласскому, Ат-Ойнокскому, Узун-Ахматскому, а также Сусамырскому хребтам и горам Кокирим-Тоо.

Пихта Семенова занимает 3716 га, и за период с 1975 по 2008 год ее площадь увеличилась на 399 га за счет перевода лесных культур и восстановительной смены. Пихтовые леса представлены в основном средневозрастными насаждениями (43,9 %). Приспевающие насаждения пихты занимают по площади 18,7 %, а на долю молодняка приходится лишь 2,6 % от всей лесопокрытой площади. Кроме этого, в пихтарниках накоплено значительное количество спелой древесины (34,8 %), находящейся в труднодоступных местах. Среднеполнотные насаждения пихты составляют больше половины территории (59,4 %) пихтовых лесов. Низкополнотные (0,3–0,4) занимают 32,1 % и приурочены к нижней, более доступной части, где в прошлом проводились бессистемные рубки. Высокополнотных лесов сохранилось мало. Они в основном находятся в труднодоступных ущельях в бассейнах рек Коро-Карагай, Уста-Сай и Кара-Кулжа Токтогульского лесхоза и составляют всего 8,5 %. Среди насаждений пихты Семенова преобладают древостои III и IV класса бонитета, составляющие соответственно 27,6 и 49,5 %. На долю II класса бонитета приходится 3,8 %, а V–V^{a} бонитета – 19,1 %. Основные массивы пихтовых лесов занимают склоны крутизной от 21 до 50°, а на пологих склонах крутизной до 20° сосредоточены всего лишь 3,0 %. Чистые пихтарники приурочены только к склонам северной экспозиции. На склонах, обращенных к северо-западу и северо-востоку, к пихте примешивается ель Шренка *(Picea schrenkiana)*. Около половины (48,8 %) пихтарников встречается на северных склонах, 47,1 % – на склонах северо-восточной и северо-западной экспозиций. На южных склонах их нет, а на восточных и западных – всего

лишь 4,1 %. Из сказанного выше следует, что пихта является породой, требовательной к условиям местопроизрастания. Там, где пихта произрастает на мощных, богатых почвах с повышенной влажностью, она образует насаждения высоких классов бонитета.

Главной породой среднегорных пихтарников является пихта Семенова. Здесь встречаются единичные экземпляры *Picea schrenkiana, Juniperus semiglobosa* и *J. seravschanica, Acer semenovii, Betula turkestanica.* По поймам рек – *Betula turkestanica, B. procurva, B. tianschanica, различные виды Salix.* Пихта образует здесь сплошные массивы, занимая все северные, северо-восточные и северо-западные склоны. Сомкнутость крон достигает 1,0. Встречаются двухъярусные насаждения. Подлесок – от густого до редкого, в зависимости от сомкнутости крон насаждения. Его состав разнообразнее по сравнению с высокогорными пихтарниками. Представлен *Lonisera hispida, L. karelinii u L. altmannii, Euonymys semenovii u E. koopmannii, Crataegus altaica, Rubus idaeus, Ribes meyeri, Rubus caesius, Cotoneaster oligantha, Rosa fedtschenkoana, R. oligantha, R. laxa u R. platyacantha, Sorbus tianschanica u S. turkestanica.*

Травяной покров очень разнообразный. Под пологом леса встречаются: *Aegopodium alpestre, Impatiens parviflora, Poa nemoralis, Brachypodium sylvaticum, Campanula glomerata, Pyrola minor, Stellaria media, Cicerbita pseudotianschanica* и др. На полянах, по опушкам леса и среди кустарников растут *Polygonum songoricum, P. coriarium, Alchemilla sibirica, Erigeron seravschanicus, Ligusticum discolor, Agropyron repens, Ligularia macrophylla u L. thomsonii, Fragaria vesca, Bromus inermis, Helictotrichon pubescens, Heracleum dissectum, Prunella vulgaris, Dactylis glomerata, Solidago dahurica, Origanum tyttanthum, Iris alberti, Dracocephalum integrifolium, Achillea asiatica, Thalictrum minus, Anemone protracta, Lathyrus pratensis, Aquilegia karelinii, Phleum phleoides, Hypericum perforatum, Polygala hybrida, Onobrychis echidna, Stellaria graminea, Stachus tschatkalensis, Ligularia macrophylla.* По поймам рек доминируют *Carum carvi, Geranium collinum, Anthriscus sylvestris, Euphrasia peduncularis.*

Формации еловых лесов в Западном Тянь-Шане образованы елью тянь-шаньской, или елью Шренка *(Picea schrenkiana* Fisch. et Mey.*)*, занимают 8619 га. Она распространена на абсолютной высоте 1200–1800 м. Достигает 40 метров высоты, поражая своей мощью и красотой. Образует самые продуктивные по техническим свойствам древесины насаждения. Нами в урочище Туарча Токтогульского лесхоза в 1978 году найдены очень редкие четыре дерева пирамидальной формы ели тянь-шаньской, которая заслуживает особого внимания для использования в озеленении. На юге республики площадь еловых лесов – всего 13,6 тыс. га, с общим запасом древесины 1443 тыс. м^3. По возрастной структуре молодняки составляют 17,8 %, средневозрастные леса – 23,6 %, приспевающие – 10 %; около 50 % составляют спелые и перестойные насаждения. Древостои чистые. Подлесок в сомкнутых древостоях отсутствует. Редины и низкополнотные древостои имеют развитый подлесок и богатый травяной покров. В подлеске преобладают кустарниковые породы, что указывает на возможную смену ели кустарниками. Здесь распространены *Sorbus tianschanica, Rosa albertii, Lonicera stenantha, L. hispida, L. karelinii u L. altmannii, Salix tianschanica, Euonymys semenovii, Cotoneaster melanocarpus, Berberis heteropoda.*

Травяной покров развит хорошо. Индикаторами лесорастительных условий являются такие луговые виды, как *Brachypodium pinnatum u Dactylis glomerata.* Под кронами в лесу *Aegopodium alpestre, Cicerbita tianschanica, Codonopsis clematidea, Carum atrosanguineum,* лесные виды – *Polygonatum roseum, Solidago dahurica,* по опушкам и полянам – *Origanum vulgare, Aconitum soongaricum, Trollius dschungaricus, Campanula glomerata, Silene lithophila, Dianthus kuschakewiczii u hoeltzeri, Myosotis suaveolens, Aquilegia karelinii* и др. Отмечается также обилие мхов.

Формации можжевеловых (арчовых) лесов Западного Тянь-Шаня в настоящее время занимают 50 493 га, в том числе высокоствольные насаждения – 39 589 га, стланики –

10 904 га. Почвы коричнево-бурые. Все насаждения арчи слагаются из трех основных видов (*Juniperus seravschanica Kom., J. semiglobosa Rgl.* и *J. turkestanica Kom.*). Доминирующее значение вида сохраняется до определенных высот, в пределах которых главной породой является преобладающий вид. Арчовые насаждения встречаются на склонах всех экспозиций, но древовидные преобладают на северных склонах, а стланики – на южных и восточных. На пологих склонах (до 20°) арчовников мало – всего около 9 %, на среднекрутых (21–30°) – 39 %, на крутых склонах (31–40°) – 47 %, на очень крутых склонах (более 41°) – 5 %, что объясняется практическим отсутствием почвенного покрова или малой его мощностью, обилием скальных выходов, осыпей и т. д. По вертикальному профилю древовидные арчовники приурочены к высотам 1700–3000 м над уровнем моря, а стланики – 2800–3600 м.

Формация арчи зеравшанской (*Juniperus seravschanica* Kom.) занимает нижнюю часть арчового пояса. Почва коричневая маломощная. Главная порода – арча зеравшанская (*Juniperus seravschanica* Kom.). Деревья высотой 5–10 (15) м встречаются единично или группами на высоте 1800–2000 м. В составе насаждений, особенно у верхней границы подпояса, часто встречается *J. semiglobosa*. Отводковых (порослевых) деревьев нет, все только семенного происхождения. Высокополнотных насаждений нет. Древостой редкий, часто куртинного характера, сильно изрежен. На гребнях и скалистых обнажениях на нижней части границы деревья принимают причудливые формы и даже имеют вид куста. Среди арчи распространены *Spiraea hypericifolia, Berberis oblonga, Lonisera karelinii,* которая образует группы ассоциаций. Кроме этого, встречаются *Abelia corymosa, Acer turkestanicum, Euonmys semonovii, Cotoneaster oligantha, Rosa platyacantha, Aflatunia ulmifolia*. По поймам рек растут *Populus, Betula, Fraxinus, Salix*. Травянистая растительность под кронами и на прогалинах сильно отличается. На прогалинах преобладают сухостепные и эфемероидные растения, а под пологом – более влаголюбивые. Этот подпояс характеризуется как пырейный и пырейно-полынный, различия в травяном покрове связаны не с изменением лесорастительных условий, а с различиями в полноте древостоев и причинами антропогенного характера.

Формация арчи полушаровидной (*Juniperus semiglobosa* Rgl.**)**. Древостой арчи часто куртинного характера. Сомкнутость крон иногда достигает 100 %, но таких насаждений мало. Преобладают редко- и среднеполнотные насаждения. В составе часто встречаются *J. seravschanica* (на нижней границе) и *J. turkestanica* (на верхней границе). В более редких насаждениях подлесок гуще, а состав более разнообразный и представлен шиповниками, кизильниками, барбарисом, жимолостью, вишней и др. В более густых арчовниках подлесок более редок и менее разнообразен. По поймам рек произрастают *Betula, Fraxinus, Salix, Hippophae, Tamarix* и др. Травяной покров – разнотравье. В геоботаническом отношении среднегорные арчовники близки к группе типов арчовников типчаковых и арчовников типчаково-разнотравных.

Формация арчи туркестанской (*Juniperus turkestanica* Kom.) Древостой часто куртинного характера, в основном из деревьев семенного происхождения, но есть и отводковые деревья, иногда составляющие значительную часть насаждения. Почва бурая лесная оторфованная. Главная порода здесь – арча туркестанская. В составе насаждений до 3000 м над уровнем моря на южных склонах встречается *J. semiglobosa*. Полнота нередко достигает 1,0. Средний возраст высокий – от 100 до 600 лет, средний диаметр – 10–30 см, средняя высота – до 12 м. В составе древостоя редко, но встречаются *Lonicera u Sorbus tianschanica*, а по поймам – *Betula, Salix*. Подлесок редкий куртинного характера и часто приурочен к кронам арчи. Он гораздо беднее, чем в нижележащем подпоясе. Травяной покров – преимущественно разнотравье. В нижней части подпояса встречаются типы мятликово-разнотравные, а в верхней – разнотравно-типчаковые.

УДК 582.4 (575.2)

ПАВЛОВНИЯ ВОЙЛОЧНАЯ В КЫРГЫЗСТАНЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВЕДЕНИЯ

Ш.Б. БИКИРОВ, Э.А. НУРКАСЫМОВА

НП ЦИЛ им. П.А. Гана Института биологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан
(bikirov47@gmail.com)

В статье приводятся биоэкологические особенности павловнии войлочной и изложены перспективы ее выращивания в Кыргызстане для создания промышленных плантаций.

POVLOVNIYA FELTED IN KYRGYZSTAN AND THE PROSPECTS OF ITS CULTIVATION

Sh.B. BIKIROV, E.A. NURKASYMOVA

Scientific and production center for the study of forests after P.A. Gan of the Biology institute of the National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic
(bikirov47@gmail.com)

The article presents the bioecological features of Paulownia and the prospects for its cultivation in Kyrgyzstan for the creation of industrial plantations.

Улучшение экологической обстановки в целом связано с восстановлением и созданием новых лесов. Леса Кыргызстана играют огромное почвозащитное, водоохранное и противоселевое значение и занимают всего лишь 5,62 % всей территории. Вовлечение в промышленную культуру растений, представляющих интерес для получения древесины, имеет большое значение для народного хозяйства.

В новой концепции развития лесного хозяйства Кыргызстана указывается, что созданию промышленных плантаций из быстрорастущих пород, развитию и планированию питомников будет уделяться особое внимание. С введением во всех регионах республики частного лесопользования предприятия лесного хозяйства должны обеспечить их высококачественным посадочным материалом, научить местное население способам создания промышленных плантаций, чтобы за короткий срок получить лесную продукцию с минимальными затратами.

На сегодняшний день основная угроза лесам исходит от местного населения. По данным дистанционного зондирования, полученным в результате обработки космических снимков, около 1,2 млн человек проживает на расстоянии до 5 км от леса и пользуется его ресурсами. Около 200 тыс. человек живут внутри леса и полностью зависят от лесных ресурсов. Потребности населения в дровах и строительном материале растут с каждым годом: выявлено, что одна семья в год использует для отопления и приготовления пищи около 5–10 куб. м древесины. Для решения этого вопроса необходимо создавать специальные лесонасаждения дровяного назначения на землях гослесфонда, а также сельских управ преимущественно вблизи населенных пунктов и тем самым смягчить нагрузку на естественные леса и свести к минимуму незаконные рубки. В связи с этим разработка научно обоснованного комплекса мероприятий для создания промышленных плантаций быстрорастущих пород, в частности, павловнии войлочной в Иссык-Кульской области в местах, где неиспользованные земли сельскохозяйственного назначения подвергаются эрозионным процессам, является актуальной проблемой.

Павло́вния во́йлочная, или импера́торское де́рево (*Paulównia tomentósa*), – дерево высотой 15–20 м и диаметром до 1 м. Крона раскидистая, округлая или яйцевидная. Естественно произрастает в провинциях Китая. Культивируется в Северной Америке, Европе, Японии и Корее, в России (1846 год), Украине, Абхазии, Азербайджане,

Грузии, в Средней Азии – в Ташкенте и Бухаре.

Павловния – теплолюбивый и светолюбивый вид, к почвам малотребовательна, лучшего роста и развития достигает на глубокой, плодородной, умеренно влажной почве: в таких условиях отличается быстрым ростом. Страдает от сильных ветров. Ценное садово-парковое дерево, пригодна как аллейное дерево и для одиночных посадок. Древесина от серебристо-серого до светло-коричневого цвета, иногда с красноватым оттенком. Это очень легкая порода, мягкая, но весьма прочная и устойчивая к сырости и гниению. В 8–9-летнем возрасте ее древесина достигает полной зрелости. Листья являются ценным кормом в животноводстве и поглощают в 10 раз больше углекислого газа, чем листья обычных деревьев. Годовой прирост павловнии составляет более 1,5 м, она выдерживает непродолжительные морозы до -25−28 °С. В плодоношение вступает в 4−5-летнем возрасте, цветет в начале распускания листьев. Семена через полгода теряют всхожесть, поэтому их собирают в январе − феврале (с нераскрывшимися коробочками) и посев производят весной, лучше под стекло в ящики. Всходы пикируют на гряды (с притенением и поливом), а в однолетнем возрасте пересаживают в питомник. Размножается корневыми отпрысками и семенами. В 2-летнем возрасте саженцы готовы к высадке на постоянное место. Можно размножать корневым и зелеными черенками.

В Кыргызстане начали выращивать павловнию Шан-Тонг – полученную путем скрещивания видов П. войлочной (P. tomentosa) и П. фортунай (P. fortunei) – она имеет преимущества по сравнению с остальными видами. Впервые в Бишкек Айгуль Омуркулова привезла саженцы павловнии из Болгарии в 2014 году. Но в первый год они понесли потери: стало ясно, что нашу зиму павловния не переносит. Проблему удалось решить путем экспериментов – оказалось, что в первые два года после посадки дерево требует специального орошения и ухода в зимний период. Затем деревья посадили вокруг поля. Эксперимент с этим чудо-деревом удалось осуществить около кинотеатра «Россия», где в 2015 году посадили три павловнии. Благодаря муниципальному предприятию «Зеленстрой» и одной из строительных компаний в 2018 году весной в столице было высажено 90 саженцев.

Директор общественного объединения «Социальное дерево» Арстанбек Тазабеков рассказал об особенностях павловнии и возможностях ее выращивания в Кыргызстане в производственных масштабах. Он поведал, какими экологическими и экономическими преимуществами обладает дерево данной породы, учитывая ценные свойства его древесины и все, что необходимо для его благополучного роста в климатических условиях Кыргызстана. После этого состоялось обсуждение возможности создания условий для посадки деревьев павловнии в регионах республики. Под руководством Тазабекова в Иссык-Кульской области (недалеко от с. Орнок) с 7 мая по 20 июня 2017 года было посажено 5,5 га, а в 2018 году – 6,5 га, всего 12 гектаров павловнии. Люди проделали огромную работу: провели капельное орошение, просеяли десятки тонн земли, чтобы избавиться от камней. Нами 30 июля 2018 г. были произведены обследования посадок павловнии в селе Орнок 2017 года. В двухлетнем возрасте высота отдельных экземпляров составила 2,25 м, диаметр на высоте груди – 5 см, в корневой шейке 10 см. Размеры листьев: длина – 55 см, ширина – 65 см, черешок – 55 см. Размеры однолетних саженцев: высота – 1,55 м, диаметр корневой шейки – 4,5 см, диаметр на высоте груди – 2,5 см. Листья: длина – 39 см, ширина – 47 см, черешок – 38 см.

ЛИТЕРАТУРА

[Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki.
[Электронный ресурс]. URL: https:// pawlownia.pro/ru/pawlownia-shan-tong.
[Электронный ресурс]. URL: www.pawlownia-russia.ru.

УДК 630*161.32

ПУЛЫ И ПОТОКИ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

К.С. БОБКОВА, М.А. КУЗНЕЦОВ, А.Ф. ОСИПОВ, В.В. ТУЖИЛКИНА

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия (bobkova@ib.komisc.ru)

Рассматривается аккумуляция и динамика органического углерода в еловых, сосновых и лиственно-хвойных экосистемах севера лесной зоны. Выявлено влияние рубок главного пользования на бюджет углерода в системе почва – фитоценоз.

POOLS AND STREAMS OF CARBON IN FOREST ECOSYSTEMS OF THE EUROPEAN NORTHEAST OF RUSSIA

K.S. BOBKOVA, M.A. KUZNETSOV, A.F. OSIPOV, V.V. TUZHILKINA

Institute of biology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia, Syktyvkar, Russia (bobkova@ib.komisc.ru)

Accumulation and dynamics of organic carbon in spruce, pine and mixed forests of the Russia's North of a taiga zone was considered. Effect of forest cutting on the carbon budget in the system soil-phytocenosis was revealed.

Лесные массивы Европейского Северо-Востока России имеют исключительно важное экономическое и средообразующее значение. Они распространяются в основном на территории бассейнов рек Печоры и Северной Двины. В крайнесеверной тайге преобладают леса сфагновой, в северной – долгомошной, в средней – зеленомошной группы типов. Доминируют еловые леса (52 %), большая часть которых представлена спелыми и перестойными насаждениями. Сосновые насаждения занимают 26 %, мелколиственные – 21 %, лиственничные, кедровые, пихтовые – менее 1 % лесопокрытой площади [4]. Пулы и потоки углерода определяли в основных типах лесных экосистем и на вырубках северной и средней подзон тайги.

Запасы углерода в спелых и перестойных ельниках составляют 110–215 тга$^{-1}$, более половины которых концентрируется в почве. Значительная часть органического углерода почвы аккумулируется в лесной подстилке. Старовозрастные хвойные сообщества, характеризующиеся сложным составом и разновозрастностью древостоев, удовлетворительным естественным возобновлением, в подзоне как северной, так и средней тайги являются в основном резервуаром для стока углекислого газа. Нетто-продукция фитомассы в них составляет от 2,8 до 8,2 тга$^{-1}$, или 1,3–4,5 тСга$^{-1}$. С опадом возвращается в почву 1,2–3,2 тСга$^{-1}$. Прирост органического углерода в почве ельников за счет закрепления его в минеральном субстрате составляет менее 10 % от массы годичного опада. Основная часть потери углерода приходится на эмиссию от разложения растительных остатков. Соотношение поступающего потока и эмиссии CO_2 показывает, что большинство типов коренных еловых сообществ служат местом хотя и слабого, но стока углерода. Лишь в отдельные периоды развития старовозрастные ельники заболоченных типов северной тайги могут служить слабым его источником. Выявлено большое влияние погодных условий сезона на процесс выделения CO_2 с поверхности почвы. Разница гидротермических условий обусловливает и разные величины эмпирического выделения за вегетационный сезон углерода (2,3–2,7 т). Определен основной тренд процесса выделения CO_2, его положительная корреляция с температурой почвы. В коренных ельниках в углеродном цикле значительна роль крупного древесного детрита. Запас органического вещества древесного дебриса в них варьирует от 19 до 35 тга$^{-1}$, из которых на долю сухостоя приходится от 5 до 42 %,

валежа – от 20 до 80 %, пней и остолопа – от 1 до 32 %.

Фитоценозы сосновых экосистем так же, как и еловые, характеризуются невысокими темпами накопления органического вещества. 30-летние северотаежные сосняки в зависимости от условий произрастания продуцируют от 1,5 до 2,8, спелые – от 2,3 до 4,2 тга$^{-1}$ углерода в год. В спелых и перестойных экосистемах сосняков Европейского Северо-Востока аккумуляция углерода в зависимости от типа леса составляет 90–220 тга$^{-1}$, из них 35–74 % концентрируется в почве. С опадом на поверхность почвы в молодняках поступает 0,7–1,4, в средневозрастных и спелых лесах – 1,7–2,7 тСга$^{-1}$ в год. Скорость деструкции отдельных компонентов опада в разные годы различна и зависит от климатических условий вегетационного периода. В хвойных сообществах северной тайги за год разлагается менее 26 %, средней – менее 34 % массы поступившего опада. Несмотря на то, что в обменных процессах северотаежных и заболоченных хвойных сообществ значительную роль играют растения нижних ярусов фитоценоза, чистую продукцию фитомассы (углерода) формируют древостои. В суходольных типах леса величина NPP выше, чем в заболоченных. Ведущую роль в продукционном процессе играют почвенно-экологические факторы. На фоне недостатка тепла в лишайниковых типах сообществ определяющими являются условия питания, сфагновых – аэрации. Ельники и сосняки на автоморфных почвах характеризуются относительно благоприятным режимом трофности и увлажнения. Они отличаются более высокими показателями биопродукции.

Знание влияния рубок главного пользования на углеродный цикл хвойных лесов важно для понимания механизмов воздействия антропогенных нагрузок на лесные экосистемы и для определения углероддепонирующей функции лесов при интенсивной их эксплуатации [6]. Исследования динамики выделения диоксида углерода с поверхности полугидроморфной почвы вырубки ельника черничного влажного выявили, что в суточной динамике максимальные значения потока CO_2 с поверхности почвы вырубки наблюдаются в дневные, а минимальные – в ночные часы. Для сезонной кривой выделения углекислого газа с поверхности почвы характерен классический ее ход со смещением пика выделения диоксида углерода на июнь – июль. За вегетационный сезон (май – октябрь) эмиссия CO_2 с поверхности полугидроморфной почвы вырубки ельника черничного влажного составляет 4,16±0,54 тСга$^{-1}$, что в 1,7 раза больше, чем с поверхности такой же почвы старовозрастного ельника чернично-сфагнового. Скорость эмиссии CO_2 на участках сосновых вырубок разных лет сопоставима для пасечных участков. На волоках по мере формирования нового древесного яруса интенсивность потока CO_2 возрастает в 1,2–1,6 раза. В течение вегетационного сезона эмиссия составляет 2,0–2,6 тСга$^{-1}$. Установлена положительная корреляция между выделением CO_2 и среднесуточными значениями почвенной температуры вырубок хвойных экосистем.

Производные лиственные и лиственно-хвойные экосистемы, формирующиеся после рубок, характеризуются более интенсивными по сравнению с хвойными обменными процессами в системе фитоценоз − почва. В данных сообществах за год разлагается примерно половина массы поступающего опада, отмечаются относительно высокие темпы депонирования углерода. Так, NPP в среднетаежных березовых молодняках первого – второго классов возраста составляет 1,5–2,3, 30–35-летних смешанных березово-осиновых фитоценозах − 3–4, достигая в 45-летнем осиново-березовом насаждении 6,7 тСга$^{-1}$ в год. В 90-летнем хвойно-лиственном ценозе NPP равен 4,9 тСга$^{-1}$. Продуктивность фотосинтеза определяется как интенсивностью

поглощения CO_2, так и его длительностью. Установлено, что летом в дни с переменной облачностью среднесуточная интенсивность видимого фотосинтеза за час в расчете на один грамм сухой массы у ели составляет 0,87, сосны – 2,0, лиственницы – 4,72, березы – 8,85 мг CO_2. В пасмурные дни растения поглощают углекислый газ в процессе фотосинтеза в 1,3 раза меньше. Летом в период белых ночей в условиях северной тайги фотосинтез у хвойных идет почти круглосуточно, а в средней тайге – 17–20 часов, что компенсирует короткий период вегетации на севере [5].

Расчеты на основе материалов лесного фонда [4] и конверсионных отношений продукция фитомассы / запас древесины показали, что в лесных фитоценозах Европейского Севера России в пределах Архангельской области за год накапливается 44,9, Вологодской – 19,9, Республики Коми – 66,5 млн т С [1], что в сумме составляет около 30 % запасов углерода, ежегодно депонируемого в насаждениях европейской территории России [2, 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бобкова К.С., Галенко Э.П., Тужилкина В.В.* Годичное депонирование углерода в лесных насаждениях Европейского Северо-Востока России // Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии. Пущино. ОНТИ ПНЦ РАН. 2004. С. 70–74.
2. *Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В., Коровин Г.Н., Зукерт Н.В.* Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8–23.
3. *Лебков В.Ф., Каплина Н.Ф.* Оценка массы и структуры годичного стока углерода в лесных экосистемах европейской части России // Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии. Пущино. ОНТИ ПНЦ РАН. 2004. С. 60–64.
4. *Лесной* фонд России. М., 2003. 260 с.
5. *Тужилкина В.В.* Углекислотный газообмен фотосинтетического аппарата древесных растений в спелом еловом фитоценозе северной тайги // Экология. 2006. № 2. С. 95–99.
6. *Lindroth A., Holst J., Heliasz M., Vestin P., Lagergren F. et al.* Effects of low thinning on carbon dioxide fluxes in a mixed hemiboreal forest // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. V. 262. P. 59–70.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках темы НИР «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на Европейском Северо-Востоке России» (НИОКТР АААА-А17-117122090014-8) и Комплексной программы УрО РАН № 18-4-4-29 «Зональные закономерности бюджета углерода в лиственно-хвойных экосистемах Европейского Северо-Востока».

УДК 630*574.4

ОТКЛИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЯ УФ-В РАДИАЦИИ И КЛИМАТА ОТ УМЕРЕННОГО ДО АРКТИЧЕСКОГО

С.Л. БОНДАРЕНКО[1], И.Г. УСТИНОВА[2]

[1] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия (bond_sl@inbox.ru)
[2] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия (igu@tpu.ru)

В статье рассматриваются циклические закономерности годичного прироста хвойных деревьев и продукционные индексы листовой поверхности верхнего яруса LAI, характеризующие сезонные изменения плотности растительного покрова тундры и бореальных лесов зоны (50−70° с. ш.; 60−90° в. д.).

RESPONSES OF PLANTS TO VARIATIONS IN UV-B RADIATION AND CLIMATE FROM TEMPERATE TO ARCTIC

S.L. BONDARENKO[1], I.G. USTINOVA[2]

[1] Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia (bond_sl@inbox.ru)
[2] National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (igu@tpu.ru)

The article discusses cyclic regularity of tree response to environmental changes and seasonal variations of leaf area index, high vegetation (LAI), which characterize the state and density of vegetation cover in the tundra and in the boreal forests of the zone (50–70° N; 60–90° E).

УФ-В радиация (УФ-В) – одно из значимых атмосферных воздействий на фотосинтез кроны и стволовую продуктивность хвойных деревьев. Увеличение дошедших до земли доз УФ-В связано с современной проблемой снижения уровня стратосферного озона. Влияние УФ-В на растительность рассматривают в комплексе с другими атмосферными факторами – температурой поверхности земли и количеством выпавших осадков. Основной задачей является выделение в откликах растительности доминирующего воздействия.

Ранее установлено, что максимальная плотность годичных колец хвойных (MXD) относится к чувствительным индикаторам стрессового воздействия УФ-В на хвойные деревья. В большинстве случаев отрицательная корреляция рядов плотности и общего содержания озона (ОСО) означает, что чем больше УФ-В радиации достигает поверхности земли и падает на дерево, тем больше плотность прирастающего кольца в стволе дерева [1].

В многолетних временных рядах дендрохронологических параметров и индексов растительности присутствует цикличность, связанная с сезонными и годичными изменениями условий окружающей среды. Циклическая компонента исследуемых временных рядов атмосферных параметров и дендрохронологических данных отражает повторяемость событий в течение длительного периода времени. Различия сезонных колебаний в данных связаны с природно-климатическими условиями. Когда сезонная компонента отдельных климатических изменений накладывается на циклическую компоненту, помимо изменений суммарной амплитуды колебания происходит еще и сдвиг фазы, связанный с различиями в сроках прохождения максимума климатических и ростовых процессов. Это приводит к асинхронности природно-климатических колебаний и соответственно к усилению или ослаблению откликов растительности на изменения условий роста. Более сложные изменения в фазе колебаний возникают также из-за географического фактора (широта и долгота).

Асинхронность рядов атмосферных и дендрохронологических параметров

позволяет выделить тригонометрические компоненты ряда. На рис. 1 приведены модель и прогноз климатической и УФ-В чувствительной компоненты хронологий MXD для местности с координатами 50° с. ш. – 86° в. д. (Актру, Алтай) [3].

Растительный покров Сибири и Арктики – это тайга и тундра, в высоких северных широтах деревьев практически нет. Тем не менее в банке дендрохронологических данных содержатся хронологии по плотности годичных колец для Полярного Урала (Салехард), относящегося к арктическому климатическому поясу. Территории Томской области и Актру (Алтай) относятся к умеренному климатическому поясу. Для факторного анализа были выбраны хронологии MXD для Томска (56° с. ш. и 85° в. д.) и Салехарда (67,1° с. ш. и 64,8° в. д). Серии по результатам корреляционного анализа были разбиты на 2 группы, характеризующие чувствительные и нечувствительные к воздействию УФ-В деревья.

Результаты факторного анализа приведены в табл. 1 и демонстрируют различия в распределении откликов на внешние факторы в зависимости от широты произрастания деревьев. Влияние УФ-В радиации на деревья для высоких широт более значимо.

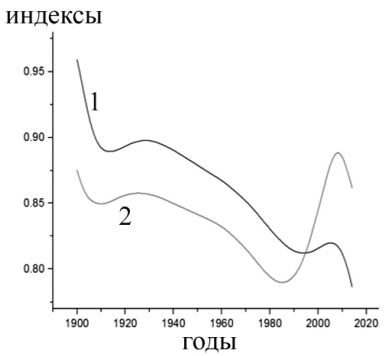


Рис. 1. Модель и прогноз [3] климатической (1) и УФ-В компоненты (2) по данным MXD для умеренного климатического пояса (50° с. ш. – 86° в. д.)

Таблица 1. Результаты факторного анализа

Фактор	% дисперсия		кумулятивный %	
	группа 1	группа 2	группа 1	группа 2
Томск 56° с. ш. – 85° в. д.				
1	28,5 (УФ-В)	52 (Т)	28,5	52
2	6,1 (О)	38 (УФ-В)	34,6	90
3	5,1 (Т)		**41,1**	
Салехард 67,1° с. ш. – 64,8° в. д.				
1	67,5 (УФ-В)	71,3 (Т)	67,5	71,3
2	9,1 (О)	6,95 (УФ-В)	76,6	78,3
3	8,1 (Т)	5,6 (О)	**84,8**	**83,9**

(Т – температура, О – осадки, УФ-В – УФ радиация в диапазоне 280–320 нм). Группа 1 включает УФ-В чувствительные серии максимальной плотности годичных колец (MXD), группа 2 – нечувствительные к УФ-В серии MXD

Цикличность рядов природно-климатических данных, моделирование постоянного тренда и тригонометрической составляющей ОСО (УФ-В), гидротермического режима (Т /О) и MXD (годичная продуктивность) подтверждают целесообразность применения метода сингулярного спектрального анализа (ССА-«Гусеница») для решения задач по разделению рядов на компоненты с последующим прогнозом [2].

Исследование состояния растительного покрова различных территорий можно расширить, применяя данные реанализа ECMWF (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды). Индекс листовой поверхности LAI определяется как отношение площадей листовой поверхности к площади произрастания для нижнего и верхнего яруса растительности.

Задача поиска откликов растений на воздействие УФ-В радиации решается как экспериментальными, биоиндикационными методами, так и моделированием. Результаты зависят от рельефа. Так, с увеличением высоты произрастания деревьев снижается температура, растет влажность и уровень солнечной радиации, и реакция в деревьях на изменения уровня УФ-В проявляется сильнее, чем для низменности и для плоскогорья лесов Сибири.

Показано, что сезонный прирост растительности за вегетационный период существенно зависит от широты (рис. 2). Рис. 3 по индексам LAI показывает широтные и долготные различия в плотности сезонного прироста растительного покрова на территории Сибири и арктического климатического пояса. Годичные изменения за вегетационный период с 2008–2016 гг., по данным CERA-SAT (2008–2016) (https://apps.ecmwf.int/datasets/), отсутствуют, что согласуется с литературными данными. Возможно, в данных по LAI отсутствуют короткопериодные вариации.

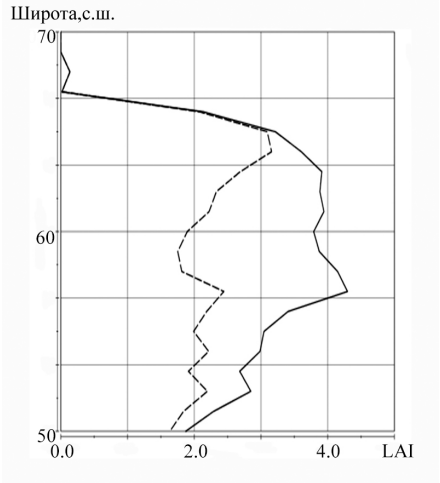


Рис. 2. Изменения LAI по широте на долготе 60° в. д. Прерывистая линия – январь 2008–2016; сплошная – июль 2008–2016

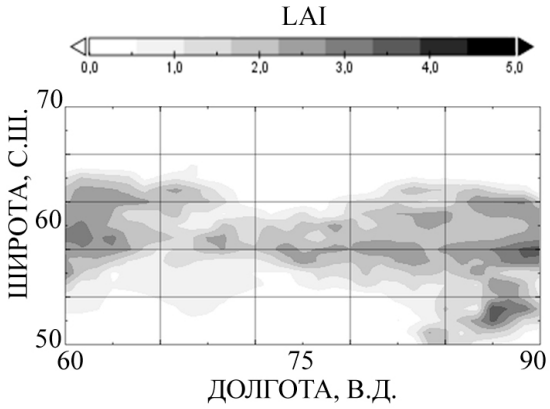


Рис. 3. Изменения LAI по широте и долготе в зоне (50–70° с. ш.; 60–90° в. д.) за январь – июль 2008–2016

Целью работы было привлечение к оценке влияния УФ-В радиации и климата на растительность арктического пояса данных индекса листовой поверхности LAI. Данные позволяют определить фенологические границы вегетационного периода (сезонные колебания) и степень ослабления роста растительности исследуемой территории, но для дальнейшего их использования необходима разработка специальной методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bondarenko S.L., Savchuk D.A.* Response of conifers to UV-B and climate in mountain areas // Global. J. Environ. Sci. Manage. 2018. 4 (3): 299–314.
2. *Бондаренко С.Л., Устинова И.Г.* Тренды климатических изменений в плотности годичных колец // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. 3. С. 50–59.
3. *Probabilistic-statistical* models of the dynamics of climatic changes in the Altai Mountains / V. N. Ustinova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 211: Environmental Observations, Modeling and Information Systems: ENVIROMIS – 2018.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы № АААА17–117013050038–7.

УДК 581.524.43

БИОКЛИМАТ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ФИТОЦЕНОТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГОРНО-ТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ СТАНОВОГО НАГОРЬЯ

М.В. БОЧАРНИКОВ

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия (maxim-msu-bg@mail.ru)

Дана биоклиматическая оценка фитоценотического разнообразия горно-таежного пояса Станового нагорья. Определено, что комплексные биоклиматические показатели, основанные на соотношении тепла и влаги, определяют общую структуру высотной поясности растительности, маркируя положение поясов в системе климатических координат. Теплообеспеченность определяет дифференциацию горно-таежного пояса Станового нагорья на подпояса лиственничных (*Larix gmelinii*) и сосновых (*Pinus sylvestris*) лесов. Региональная специфика пространственной структуры разнообразия проявляется через различия климатипов типологических подразделений растительных формаций.

BIOCLIMATE AS A FACTOR OF THE PHYTOCENOTIC DIVERSITY'S FORMATION OF THE MOUNTAIN TAIGA FORESTS IN THE STANOVOY HIGHLAND

M.V. BOCHARNIKOV

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia (maxim-msu-bg@mail.ru)

A bioclimatic evaluation of the mountain-taiga belt's phytocoenotic diversity of the Stanovoy Highland has been given. The complex bioclimatic indicators, based on the ratio of temperature and moisture, determine the structure of altitudinal zonation of vegetation, marking the position of belts in the system of climatic coordinates. The temperature supply determines the differentiation of the mountain-taiga belt of the Stanovoy Highland into the sub-belts of larch (*Larix gmelinii*) and pine (*Pinus sylvestris*) forests. The regional specificity of the diversity's spatial structure connects with differences in the climatypes of the typological divisions of vegetation formations.

Пространственная структура растительного покрова на региональном уровне его организации наиболее тесно сопряжена с климатом, который выражается, прежде всего, через биоклиматические показатели. Они дают интегральную характеристику тепло- и влагообеспеченности, непосредственно влияющих на разнообразие растительности. Оценка связей между растительностью и климатом проводится путем анализа климатических и ботанико-географических данных, совместное рассмотрение которых позволяет составить итоговые схемы, отражающие дифференциацию растительности по градиентам биоклиматических показателей [5], а также карты районирования, характеризующие пространственные закономерности растительности в связи с распределением климатических условий [10].

Задача выявления функциональных зависимостей между растительностью и климатом решается на основе данных конкретных метеостанций и геостатистических методов их пространственного анализа, а также слоев климатических моделей, например, BioClim, позволяющих получать в качестве результатов поля значений используемых характеристик. В качестве опорных типологических единиц растительности могут выступать подразделения разного ранга, а также их крупные объединения, связанные с зональной [11] и высотно-поясной дифференциацией [2]. Целью настоящего исследования является климатическое обоснование фитоценотического разнообразия пояса горно-таежных лесов Станового нагорья с использованием комплексного анализа климатических условий развития типологических подразделений растительности горного региона.

В качестве основы выявления ценотического разнообразия Станового нагорья

взята географо-генетическая классификация растительности, использованная при создании карты растительности юга Восточной Сибири [1]. Растительность Станового нагорья относится к пяти фратриям классов формаций. Они являются сложившимися в результате длительного исторического развития флороценогенетическими образованиями, современное разнообразие и совместное развитие которых на конкретной территории определяет ее ботанико-географическую специфику. Фоновое участие в сложении фитоценотического разнообразия Станового нагорья имеет растительность Байкало-Джугджурского регионального комплекса, включающего преобладающие в каждом высотном поясе сообщества, развитие которых связано с Северным Забайкальем (лиственничные леса и редколесья, сообщества кедрового стланика, высокогорные тундры). Основа разнообразия горно-таежного пояса связана с лиственничными (*Larix gmelinii*) лесами, входящими в состав Ангаридской фратрии. В пределах всего Станового нагорья они являются фоновыми на высотах 600–900 м [3, 4]. Сосновые (*Pinus sylvestris*) леса Урало-Южносибирской фратрии представлены на восточном пределе распространения небольшой частью своего разнообразия в нижнем подпоясе горно-таежного пояса (500–600 м). Ведущая роль этих лесов выражена в растительном покрове гор Южной Сибири [6].

В качестве основы для анализа пространственной дифференциации климатических условий исследуемого региона использована глобальная цифровая климатическая модель BioClim [8], представленная набором растровых слоев ключевых биоклиматических показателей, характеризующих тепло- и влагообеспеченность, а также рядом комплексных показателей, основанных на соотношении тепла и влаги. Пространственное разрешение модели (30´´) послужило опорным уровнем анализа связей растровых слоев растительности и климата. Среди биоклиматических показателей в анализе использованы средние многолетние, максимальные и минимальные средние многолетние значения температур воздуха, среднее многолетнее количество осадков по месяцам, сезонам и за год, а также комплексные показатели (изотермический коэффициент, показатель сезонности температур). Дополнительно рассчитан ряд коэффициентов – индекс континентальности, омбротермические индексы, плювиотермический показатель [7, 9, 12].

По средним значениям выбранных биоклиматических показателей для типологических единиц растительности Станового нагорья проведена кластеризация методом k-средних, которая определила наибольший вклад среднего многолетнего количества осадков, летнего омбротермического индекса, средней многолетней температуры июля и плювиотермического показателя. Пространственная организация фоновых типологических подразделений растительности, образующих фитоценотическое разнообразие в соответствии с высотно-поясной структурой растительности, находит отражение на интегральной схеме биоклиматической ординации в осях наиболее значимых показателей (рис. 1). Горно-таежный пояс развит при годовом количестве осадков 370–500 мм и летнем омбротермическом индексе 100–180. Преимущественно термические показатели определяют смену подпоясов горно-таежного пояса, которая происходит при значениях летнего омбротермического индекса 150–180. Уровень влагообеспеченности маркирует различия в типологическом разнообразии лесов в пределах нижнего подпояса горно-таежного пояса. При годовом количестве осадков менее 400 мм формируются лиственнично-сосновые леса межгорных котловин Станового нагорья.

Для фоновых в горно-таежном поясе лиственничных лесов дана оценка климатических ареалов их типологических единиц. Использованы показатели средней многолетней температуры и количества осадков. В целом сообщества формации лиственничных лесов из *Larix gmelinii* развиваются в условиях повышенной

континентальности климата. В пределах формации выделяются рододендроновые (*Rhododendron aureum*) лиственничные леса, приуроченные к условиям повышенного увлажнения наветренных склонов западной части Станового и Патомского нагорий, где они занимают высоты 700–900 м. Их развитие связано с годовым количеством осадков более 450 мм и средними годовыми температурами выше –7° С.

В результате исследования показано, что пространственная дифференциация биоклиматических показателей на Становом нагорье находит тесные связи с высотным градиентом и прослеживается в соответствии с секторальными различиями, определяемыми степенью континентальности климата. Для растительного покрова региона свойственна трехчленная структура поясности, формирующаяся в резко континентальном климатическом секторе при выраженном температурном градиенте. Горно-таежный пояс развит на высотах 400–900 м. В его верхнем подпоясе господствуют лиственничные леса, которые в нижнем подпоясе сменяются сосновыми. Ключевые биоклиматические показатели, характеризующие теплообеспеченность, детерминируют развитие подпоясов, а пространственная структура фитоценотического разнообразия фоновых растительных формаций в их пределах определяется соотношением тепла и влаги, прежде всего, вегетационного сезона.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белов А.В.* Карта растительности юга Восточной Сибири. Принципы и методы картографирования // Геоботаническое картографирование. 1973. С. 16–30.
2. *Бочарников М.В.* Роль климата в пространственной организации растительного покрова Кодаро-Каларского оробиома // Сиб. экол. журн. 2019. 3. С. 239–252.
3. *Владимиров И.Н., Софронов А.П., Сороковой А.А., Кобылкин Д.В., Фролов А.А.* Структура растительного покрова западной части Верхнеангарской котловины // География и природные ресурсы. 2014. 2. С. 44–53.
4. *Гаращенко А.В.* Флора и растительность Верхнечарской котловины (Северное Забайкалье). Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. 280 с.
5. *Назимова Д.И., Ермаков Н.Б., Андреева Н.М., Степанов Н.В.* Концептуальная модель структурного биоразнообразия зональных классов лесных экосистем Северной Евразии // Сиб. экол. журн. 2004. 11. 5. С. 745–756.
6. *Сочава В.Б.* Географические аспекты сибирской тайги. Новосибирск: Наука, 1980. 256 с.
7. *Krestov P.V.* Climatic Control of Zonal Vegetation in Northeast Asia with Special Accent to the Continentality-Oceanicity Gradient // Vegetation mapping Series: Proceedings of the Fifth Symposium of Vegetation Diversity in Taiwan. Taipei, 2007. 9. Pp. 175–178.
8. *Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology. 2005. 25 (15). Pp. 1965–1978.
9. *Rivas-Martinez S., Canto P., Fernandez-Gonzalez F., Molina J.A., Pizarro J.M., Sanchez-Mata D.* Synopsis of the Sierra de Guadarrama vegetation // Itinera Geobotany. 1999. 13. Pp. 189–206.
10. *Rivas-Martinez, Penas A., Diaz T.E.* Bioclimatic map of Europe, thermoclimatic belts. Cartographic Service. University of Leon, Spain, 2004.
11. *Tuhkanen S.* A circumboreal system of climatic-phytogeographical regions // Acta Botanica Fennica. 1984. 127. Pp. 1–50.
12. *Yim Y.J., Kira T.* Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula I. Distribution of some indices of thermal climate // Japanese Journal of Ecology. 1975. 25. 2. Pp. 77–88.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда по проекту № 17-77-10142.

УДК 630.432

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НАЗЕМНЫХ САМОХОДНЫХ АГРЕГАТОВ, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

А.В. БРЮХАНОВ[1], В.А. ИВАНОВ[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (bryukhanov1975@yandex.ru)
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (ivanovv53@yandex.ru)

Предлагаемая методика расчета условных коэффициентов основывается на среднестатистической производительности средств тушения и локализации лесных пожаров, а также вместимости и грузоподъемности машин по доставке сил и средств. В основу оценки эффективности применения машин и тракторов предлагается заложить принцип «эталона» по соотношению производительности и эффективности.

THE ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF LAND SELF-PROPELLED MACHINES SUITABLE FOR EXTINGUISHING FOREST FIRES

A.V. BRYUKHANOV[1], V.A. IVANOV[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (bryukhanov1975@yandex.ru)
[2] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia (ivanovv53@yandex.ru)

The proposed method of calculating the conditional coefficients based on the average productivity of extinguishing of forest fires units, as well as the capacity and size of machines for the delivery of forces and means. The basis for the evaluation of the effectiveness of the use of machinery and tractors the principle of the «The Etalon» is suggested according to the ratio of performance and efficiency.

В основе методики расчета условных коэффициентов предлагается использовать среднестатистическую производительность средств тушения и локализации лесных пожаров, а также вместимость и грузоподъемность средств доставки. Это наиболее важные показатели, влияющие на эффективность при проведении работ по профилактике, мониторингу и борьбе с пожарами. Номенклатура отечественных и зарубежных моделей лесопожарной техники, оборудования, противопожарного снаряжения и инвентаря определялась по наличию их на российском рынке в настоящее время (на 2019 г.).

Нормативы потребности в лесопожарной технике и оборудовании, а также коэффициенты перевода их в эталонные единицы основываются на оценке технико-экономических показателей, выполняемых по различным вариантам технологий (тушения, обнаружения, доставки). Основным из данных показателей является производительность машин и механизмов согласно технологическим картам на выполнение работ по профилактике и тушению лесных пожаров [1, 2]. В случае, если показатели производительности техники не указаны в отраслевой документации, их можно взять из данных производителя, но при этом следует иметь в виду, что цифры в них могут быть иногда завышенными.

Для большинства районов европейской части России, а также юга Сибири и Дальнего Востока в качестве эталонной единицы пожаротушения принят трактор МТЗ-82 (МТЗ-80) с плугом дисковым противопожарным ПДП-1,2-01 (ПДП-1.2) и группа (бригада) из 5 лесных пожарных с инвентарем (команда тушения). Данный вид трактора широко используется в сельском и лесном хозяйстве. Он относительно недорогой, легко обслуживаемый и ремонтопригодный, массово выпускается и имеет другие преимущества.

В основу оценки эффективности применения того или иного трактора с агрегируемыми почвообрабатывающими орудиями должна быть положена оценка не

только класса тяги (измеряется в тонна-силах), но и типа почвообрабатывающего орудия. Существует несколько групп почвообрабатывающих орудий (табл. 1), которые в зависимости от выполняемой задачи крепятся либо к передней, либо к задней подвеске тракторов. Из всего многообразия почвенных плугов (лемешные, комбинированные, фрезерные, роторные и дисковые), по нашему мнению, наиболее пригодными для колесных тракторов в лесопожарных целях будут являться дисковые плуги, так как они наиболее производительны на неподготовленных лесных почвах. Для гусеничных лесопожарных тракторов, обладающих, как правило, значительно большим тяговым классом, можно рассматривать в качестве основных уже лемешные и комбинированные плуги. Данные тракторы, имеющие в основном значительно большую мощность, способны с помощью тяжелых плугов создавать достаточно качественные минерализованные полосы даже на заросших молодняками и умеренно захламленных валежом территориях.

Таблица 1. Пример коэффициентов перевода в эталонные единицы (применительно к МТЗ-82) почвообрабатывающих орудий для создания минерализованных полос

Плуги									Бульдозерное оборудование		
лемешные, комбинированные			дисковые			фрезерные, роторные					
трактор	класс тяги	Кэ	трактор	класс тяги	Кэ	трактор	класс тяги	Кэ	трактор	класс тяги	Кэ
ТЛП-4М	4	0,5	МТЗ-82	1,4	1,0	ЛХТ-100	3	0,6	ЛХТ-100	3	2,5
ЛХТ-100	3	0,8				МТЗ-82	1,4	0,5	ДЗ-54	6	2,5
ЛХТ-4	4	0,4				Т-150К	4	0,4	ДТ-75	3	2,5
МТЗ-82	1,4								ВТ-100	3	1,3
									ТТ-4М	4	2,0
									Б10М	10	0,4

На территориях с высоким классом природной пожарной опасности (на значительно захламленных лесных участках, а также в молодняках, на большинстве типов вырубок) наиболее перспективным является привлечение для прокладки минерализованных полос тракторов, имеющих бульдозерное оборудование (поворотные отвалы и клинья-толкатели). В случае, когда минерализованная полоса должна быть оперативно проведена через сильно захламленные вырубки, шелкопрядники или насаждения с большим количеством сухостоя и крупных деревьев, а также когда ширина оперативно созданной минерализованной полосы должна составлять не менее 3 метров [1], наиболее оправданным является использование лесопожарных танков (для обеспечения безопасности работ).

Для трактора МТЗ-82 с командой лесных пожарных в качестве эталонного показателя принята производительность пахотного агрегата в час сменного времени в эталонных условиях: глубина обработки 8 см, ширина полосы 1,2 м на любых почвах, затраты на 1 км локализации минерализованной полосой 1 маш./час (создание 1 км полосы за 1 час) в лесорастительных условиях с I по V группу типов леса при уклоне до 13º [1, 2]. Производительность тушения бригады из 3–5 человек не учитывается. Они окарауливают минерализованную полосу от переброса огня через нее и расчищают проезд для движения трактора. Время доставки сил и средств пожаротушения не должно превышать 3 часов. Взяв среднюю скорость распространения огня по фронту, 1,5 м/мин, мы получим, что при 3-часовом неконтролируемом распространении пожара площадь его составит 6,6 га, а периметр – 1,3 км [3]. Приступив к локализации при имеющейся площади пожара, эта эталонная единица локализует его за 3 часа, а

площадь локализованного пожара составит около 25–26 га (такая площадь пожара практически укладывается в категорию обычных пожаров для районов работы наземных сил). В данных расчетах сознательно было принято, что локализация пожара не оказывала влияния на скорость свободного распространения пожара по территории до момента его полного окружения.

Выбранная эталонная единица пожаротушения позволяет при 3-часовой доступности локализовать лесной пожар и прибыть на место базирования за 8–9-часовой рабочий день. Для более сложных условий в плане как рельефа, так и почв, а также для заросших древесно-кустарниковой растительностью участков (через которые нужно прокладывать минерализованную полосу) в качестве эталонной единицы пожаротушения взят отечественный бульдозер Б10М. Он может в таежных относительно равнинных условиях (склоны до 12°) проложить за 1 час в среднем около 2 км минерализованной полосы, или 15–16 км за 8-часовой день (при низкой захламленности, отсутствии поломок и помощи тракториста-сменщика). При работе в горных условиях (склоны 13–24°) производительность бульдозера будет снижаться примерно в два раза. В условиях лесных участков данную машину не рекомендуется использовать на склонах, превышающих 24°, по технике безопасности. На прокладке минерализованных полос при более сложном рельефе наиболее оправданно использование специальных горных бульдозеров или прокладка минерализованной полосы с помощью взрывчатых веществ.

Для районов, где наиболее часто работой в пожароопасный сезон является борьба с торфяными пожарами, рекомендуется использование специальной болотоходной версии этого бульдозера ЧТЗ Б10МБ.0121-2В4. Главным отличием лесопожарных модификаций от базовых является дополнительная защита, а именно защитное устройство от падающих стволов деревьев (типа Fleko), а также защита гидроцилиндров и их рукавов для подъема и опускания отвала, что позволяет безопасно для оператора эксплуатировать данную технику. Следует отметить, что даже одна модификация бульдозера, используемая в лесопожарных целях, может оснащаться большим разнообразием прицепных лесопожарных агрегатов с учетом имеющихся условий и специфики работ.

С учетом всех вышеперечисленных факторов в качестве эталонного трактора для равнинных условий рельефа рекомендуется МТЗ-82 с дисковым лесопожарным плугом ПДП-1,2. Для сильно пересеченных и горных условий в качестве эталонного рекомендуется бульдозер Б10М с клином-толкателем М2 или же их аналоги.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Приказ* Рослесхоза от 17 февраля 2010 г. № 58 «Об утверждении технологических карт на выполнение работ по профилактике и тушению лесных пожаров». [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/902206319.
2. *Приказ* Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 28.03.2014 № 161 «Об утверждении видов средств предупреждения и тушения лесных пожаров, нормативов обеспеченности данными средствами лиц, использующих леса, норм наличия средств предупреждения и тушения лесных пожаров при использовании лесов. [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/499089869.
3. *Щетинский Е.А.* Тушение лесных пожаров (пособие для лесных пожарных). Москва, 2011. 470 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке хоздоговора 17-16-НИР/03 от 12.09.2017 в рамках совместного выполнения научно-исследовательских работ ВНИИЛМ и ИЛ СО РАН.

УДК 630*556,51*551,583

ДИНАМИКА СТОКА РЕК В ГОРАХ ЗАПАДНОГО САЯНА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Т.А. БУРЕНИНА, Д.А. ПРЫСОВ, А.В. МУСОХРАНОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия
(Prisov.krasn@gmail.com)

В работе проанализирована динамика стока горных рек Саянской горной области, выполнен сравнительный анализ изменения речного стока и климатических параметров с учетом лесохозяйственной деятельности на водосборах. В условиях антропогенного пресса на лесные экосистемы речных бассейнов для малых и средних водотоков влияние рубок главного пользования и последующей лесовосстановительной динамики более значимо, чем изменение климатических условий.

DYNAMICS OF RIVER FLOW IN THE MOUNTAINS OF WESTERN SAYAN IN THE CONDITIONS OF INTENSIVE FOREST MANAGEMENT AND CHANGING CLIMATE

T.A. BURENINA, D.A. PRYSOV, A.V. MUSOKHRANOVA

Sukachev Institute of Forest SB RAS, FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
(Prisov.krasn@gmail.com)

The work is devoted to influence of climatic and anthropogenic factors on forming of river flow. A dynamics of runoff and climatic parameters taking into account forest management activities in catchment areas are carried out. Under the conditions of anthropogenic pressure on forest ecosystems at small and medium-sized river basins, the influence of industrial logging and forest regeneration dynamics is more significant than the change in climatic conditions.

Антропогенный пресс, который в настоящее время испытывают лесные экосистемы, неизбежно ведет к утрате лесом роли стабилизирующего биосферного фактора, что отражается на окружающей среде и, прежде всего, на гидрологическом режиме территорий. Исследования проводились на водосборных бассейнах девяти рек в горно-таежных лесах Западного Саяна. К анализу были привлечены фондовые материалы УГМС – данные многолетних наблюдений за стоком на гидрологических постах, атмосферными осадками и температурой воздуха на метеостанциях исследуемого региона [3–4]. Длительность рядов наблюдений на отдельных объектах составляет более тридцати лет и включает годы с различной гидроклиматической обстановкой. Необходимые для анализа статистические параметры получены после предварительного сглаживания временных рядов методом скользящей средней. Построение трендов годового стока рек и осадков и коэффициентов линейных трендов было осуществлено при обработке временных рядов этих величин в программе MicroSoft Excel. Анализ динамики лесистости выполнялся на основе лесоустроительных материалов Ермаковского лесхоза. Для каждого пятилетнего периода определялась среднегодовая площадь, пройденная рубками и пожарами.

Для выявления связи стока с климатическими характеристиками исследуемого региона данные по стоку девяти рек и метеоданные по четырем метеостанциям обрабатывались методом множественного регрессионного анализа. Для пяти рек (табл. 1) были получены регрессионные гидрологические модели, в которых годовой сток рек достоверно связан с комплексом гидроклиматических параметров пяти метеостанций [1–2].

Согласно полученным уравнениям, годовой сток исследуемых водосборов достоверно связан с величиной осадков и стоком предыдущего года. Все уравнения различаются между собой по набору переменных. Наиболее значимым показателем во

всех уравнениях является сумма твердых осадков. Значения Т-критерия этого показателя для всех рек – от 4,6 до 6,4 (при достоверности 95 %). Это является подтверждением того, что для рассматриваемой территории водность рек зависит от аккумуляции снежного покрова на водосборах. Вклад жидких осадков в формирование стока для всех рек, за исключением реки Мигны, наиболее значимый в апреле и мае.

Анализ динамики температуры воздуха на реперных метеостанциях показал, что в районе исследований с 30-х годов прошлого века до 2000 года наблюдались повышения температуры воздуха, причем максимальные значения коэффициентов линейных трендов характерны для холодного периода года. С 2001 года для всех реперных метеостанций наблюдается понижение среднегодовой температуры воздуха; для холодного периода года коэффициент тренда в 2–4 раза выше, чем для теплого периода. Эти тенденции изменения температуры воздуха на юге Красноярского края согласуются с данными А.П. Шевырногова [5]. Что касается осадков, то, по данным метеостанций Ермаковское и Оленья Речка, наблюдается тенденция к снижению годовой суммы осадков. При этом показатели за 1966–2000 и 1947–2000 гг. различаются. Темпы уменьшения осадков за период 1966–2000 гг. в два раза выше, чем за 1947–2000 годы. С 2001 по 2012 год отмечается небольшой рост осадков по метеостанции Оленья Речка, но для предгорных районов характерно резкое снижение осадков, особенно в теплый период года.

Таблица 1. Регрессионные гидрологические модели годового стока рек Западного Саяна

№ п/п	Река	Реперная метеостанция	Уравнение	R^2	G	F
1	Кебеж	Оленья речка	$Y = -119{,}15 + 0{,}35\ X_j + 1{,}08\ X_4 + 0{,}95\ X_6 + 0{,}91\ X_9 + 0{,}23\ Yp$	0,75	70,1	13,1
2	Копь	Ермаковское	$Y = -64{,}49 + 0{,}39\ X_j + 1{,}33\ X_t + 1{,}59\ X_4 + 0{,}20\ Yp$	0,62	72,8	19,3
3	Мигна	Григорьевка	$Y = -36{,}85 + 0{,}51\ X_t + 0{,}64\ X_7 + 0{,}21\ Yp$	0,68	33,5	16,1
4	Оя	Ермаковское	$Y = 157{,}07 + 0{,}55\ X_j + 0{,}98\ X_t + 1{,}04\ X_4 + 0{,}57\ X_5 + 0{,}25\ Yp$	0,72	50,0	24,3
5	Шадат	Ермаковское	$Y = -138{,}03 + 0{,}77\ X_t + 1{,}04\ X_5 + 0{,}31\ X_{(6,7,8)} + 0{,}33\ Yp$	0,60	42,8	18,2

Y – годовой сток, мм; X_j – сумма жидких атмосферных осадков, мм; X_t – сумма твердых атмосферных осадков, мм; X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9 – среднемесячные значения осадков соответственно в апреле, мае, июне, июле, августе и сентябре, мм; Yp – годовой сток предыдущего года, мм; R^2 – коэффициент множественной детерминации; G – стандартная ошибка уравнения; F – критерий Фишера.

На фоне рассмотренных выше трендов температуры воздуха и осадков динамика стока на исследуемых реках различается. Сток трех рек (Копь, Мигна и Оя) имеет тенденцию к снижению, что совпадает с трендом осадков. Для рек Кебеж и Шадат отмечен положительный тренд стока (рис. 1). Этот факт мы объясняем тем, что в бассейнах этих рек в середине XX столетия велись масштабные лесозаготовительные работы, и последующее лесовосстановление повлияло на гидрологический режим водотоков.

Чтобы проследить влияние свежих вырубок на сток и исключить влияние осадков, мы провели сравнительный анализ динамики коэффициента стока (отношение стока к осадкам) и динамики площадей свежих вырубок по пятилетиям (суммировались вырубки от 1 до 5 лет). Максимальные значения коэффициента стока на реке Кебеж в периоды 1954–59 гг. и 1999–1973 гг. совпадают с увеличением вырубаемых площадей. Аналогичная ситуация прослеживается и для периода с 1984 по 1993 год [6].

Таким образом, исследования показали, что выявленные тренды годового стока

исследуемых рек различаются как по знаку, так и по величине. Гидрологический режим водотоков с отрицательным трендом годового стока определяется общим характером увлажнения территории, тогда как положительный тренд годового стока при общей тенденции снижения осадков обусловлен уменьшением испарения на водосборе, которое зависит от антропогенной трансформации лесной растительности под влиянием рубок. В условиях горной тайги Западного Саяна сплошные рубки леса приводят к изменению водного баланса территорий с перераспределением его расходной части в сторону уменьшения суммарного испарения и, соответственно, увеличения стока.

В условиях антропогенного пресса на леса водосборных бассейнов средних и малых водотоков роль изменения климата в формировании стока рек менее выражена, а влияние рубок главного пользования и последующей лесовосстановительной динамики более значимо. Поэтому при масштабных рубках главного пользования и крупных лесных пожарах нарушенность лесной растительности может стать основным фактором, определяющим условия формирования стока.

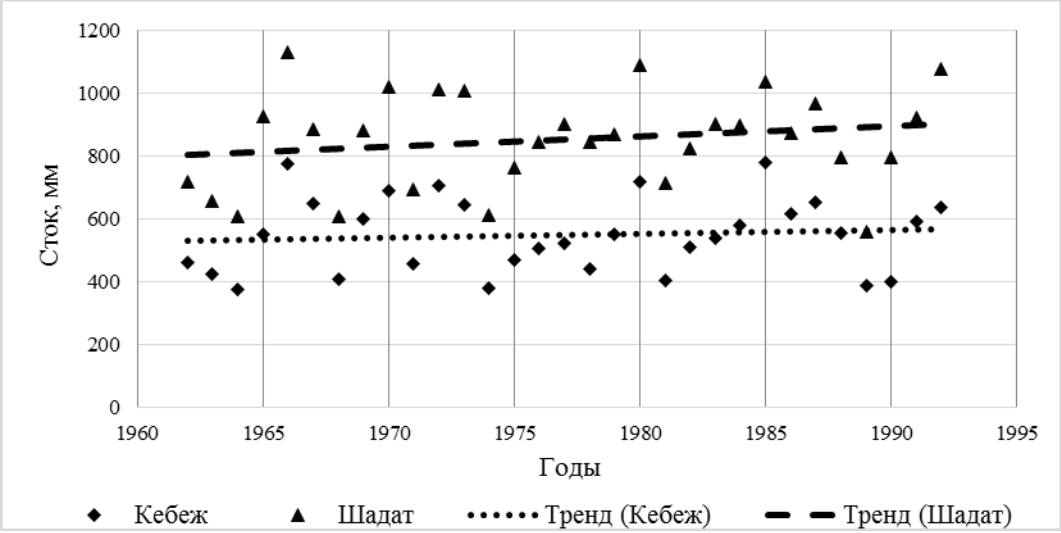


Рис. 1. Тренд стока на реках Кебеж и Шадат в годы интенсивных лесозаготовок

ЛИТЕРАТУРА

1. *Буренина Т.А., Прысов. Д.А., Федотова Е.В.* Влияние климатических и антропогенных факторов на гидрологический режим рек юга Красноярского края // Сиб. лесн. журн. 2018. 2. С. 48-60.
2. *Прысов Д.А.* Гидрологические модели годового стока рек Саянской горной области // Всерос. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, 19 мая 2017 г., Красноярск. Красноярск, 2017. С. 51–52.
3. *Главная* страница сайта Среднесибирского УГМС. [Электронный ресурс]. URL: http://meteo.krasnoyarsk.ru.
4. *Специализированные* массивы для климатических исследований. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. ВНИИГМИ-МЦД. [Электронный ресурс]. URL: http://meteo.ru/it/178-aisori.
5. *Шевырногов А.П., Чернецкий М.Ю., Высоцкая Г.С.* Многолетние тренды NDVI и температуры на юге Красноярского края // Исслед. Земли из космоса. 2012. 6. С. 77–87.
6. *Onuchin A., Burenina T., Pavlov I.* Hydrological consequences of timber harvesting in landscape zones of Siberia // Environments. 2017. 4. Pp. 1–16.

УДК 528.854.4

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ, ПОВРЕЖДЕННЫХ СТВОЛОВЫМИ ВРЕДИТЕЛЯМИ, НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ ЗАПОВЕДНИКОВ «ХАКАССКИЙ» И «СТОЛБЫ» С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Е.В. БЫКОВА-САШКО[1], Д.В. ГОЛУБЕВ[1], А.А. КНОРРЕ[2], И.Л. ИСАЕВА[3]

[1] Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Красноярского края», Красноярск, Россия (czl124@rcfh.ru)
[2] Государственный природный заповедник «Столбы», Красноярск, Россия (nau-stolby@yandex.ru)
[3] Государственный природный заповедник «Хакасский», Абакан, Россия (inna_maymanakova@mail.ru)

В работе рассматривается применимость использования данных со спутника Sentinel-2 для дешифрирования насаждений, поврежденных стволовыми вредителями типа короедов. Оценка возможности диагностики очаговых и отдельных усыхающих насаждений по данным снимка проводилась путем сравнения результатов использования ряда специализированных спектральных (вегетационных) индексов. Результаты расчета индексов были верифицированы наземными данными.

INTERPRETATION OF FOREST PLANTATIONS DAMAGED BY INSECTS ON THE EXAMPLE OF NATURE RESERVES «KHAKASSKY» AND «STOLBY» WITH THE USE OF SATELLITE IMAGERY AND GIS TECHNOLOGIES

E.V. BYKOVA-SASHKO[1], D.V. GOLUBEV[1], A.A. KNORRE[2], I.L. ISAEVA[3]

[1] Centre of forest health of the Krasnoyarsk territory, Krasnoyarsk, Russia (czl124@rcfh.ru)
[2] State nature reserve «Stolby», Krasnoyarsk, Russia (nau-stolby@yandex.ru)
[3] State nature reserve «Khakassky», Abakan, Russia (inna_maymanakova@mail.ru)

The paper discusses the applicability of using data from the Sentinel-2 satellite for interpretation of forest plantations damaged by stem pests (the type of bark beetle). Assessment of the possibility of diagnosis of focal and individual drying plantations, according to the image, was carried out by comparing the results of using a number of specialized spectral (vegetation) indices. The results of the indices calculation were verified by ground data.

Введение. В настоящее время сложно представить задачу в сфере лесного хозяйства, где бы не были задействованы геоинформационные системы (ГИС) и данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В данной работе рассматривается применимость использования данных со спутника Sentinel-2 для дешифрирования кедровых насаждений *(Pinus sibirica* (Rupr.)*),* поврежденных шестизубым короедом (*Ips sexdentatus* Boern.) на территории государственного заповедника «Хакасский» (Республика Хакасия) и насаждений пихты сибирской *(Abies sibirica* Lbd.*),* поврежденных полиграфом уссурийским (*Polygraphus proximus* Blandf.) на территории государственного заповедника «Столбы» (Красноярский край). Выбор данных участков и типов повреждений определен не случайным образом: в отличие от ряда других повреждений (пожары, ветровалы, поражения хвое- и листогрызущими насекомыми) насаждения, которые подвергаются воздействию стволовых вредителей (жуков-короедов, в частности), имеют диффузный, куртинный характер распространения, формируя единичные вкрапления поврежденных деревьев в здоровый древостой. В связи с этим методики, применимые для дешифрирования участков, имеющих более-менее четкие, определенные границы, в данном случае не дают удовлетворительных результатов, что приводит к поиску новых подходов.

Основная часть. *Краткая характеристика объектов исследования***.** Первый ключевой участок исследования представлен частью кластерного участка «Малый Абакан» ГПЗ «Хакасский», расположенного в Таштыпском районе Республики Хакасия. Общая площадь участка исследования – 20 250 га. Объектом исследования на данном участке являются древостои кедра – место локализации вспышки размножения вторичного стволового вредителя, короеда шестизубчатого, начало вспышки размножения которого пришлось на 1997–1998 гг. [1].

Второй ключевой участок – территория ГПЗ «Столбы» – расположен на северо-западных отрогах Восточного Саяна. Площадь исследования – 47 219 га. Присутствие полиграфа уссурийского на территории заповедника было обнаружено в 2012 году [2], и на данный момент зафиксировано массовое поражение деревьев пихты сибирской.

Материалы и методы. Особенностью лесных насаждений, поврежденных стволовыми вредителями, является неравномерность и эпизодичность распространения ослабленных и усыхающих деревьев. Условно очаг поражения делится на три зоны: 1) усохший эпицентр с выпадом деревьев 80–100 % (VI–V категории); 2) по периметру зона распространения очага с максимумом усыхающих деревьев, хорошо заметная по преобладающей рыжей окраске крон деревьев (V–IV категории); 3) самая широкая и неравномерная зона, содержащая единичные ослабленные и усыхающие деревья (IV–II категории) [1].

Оценка возможности диагностики очаговых и отдельных усыхающих кедровых и пихтовых насаждений по данным снимка Sentinel-2 проводилась путем сравнения результатов использования ряда специализированных спектральных (вегетационных) индексов и методов классификации с результатами достоверной верификации по наземным данным. На основе анализа существующих методик расчета был подобран комплекс спектральных индексов, характеризующих состояние растительности: *WDRVI* – индекс «зелености»; *RENDVI* – модифицированный вегетационный индекс; *NDWI* – нормализованный разностный водный индекс; *DMCI* – индекс сухости; *PSRI* – индекс учета общего количества «сухого» углерода [4].

*Результаты обработки***.** Расчет указанных спектральных показателей производился для каждого пикселя изображения в соответствии с установленными формулами. Помимо состояния растительности, на значения индекса влияет ее видовой состав, сомкнутость, экспозиция склонов и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью [4].

Дальнейшая работа по определению поврежденных участков на индексированных растровых изображениях проводилась методом автоматической неконтролируемой классификации изокластеров, с помощью которой удалось выполнить автоматическое разделение пикселей изображения на группы, сходные по спектральным характеристикам пикселей, – кластеры [3]. Поскольку выбранные для исследования территории имеют множественную структуру поверхности, для выделения большего числа градаций поврежденных участков было определено 7 классов.

После векторизации классифицированных изображений проводилось вычисление площади, занимаемой каждым тематическим классом, и сравнение этих значений с эталонным векторным слоем поврежденных лесных насаждений. Общая площадь анализируемых тестовых областей для участка «Малый Абакан» составила 1024,97 га, для участка «Столбы» – 2622,1 га. Полученные значения заносились в базу данных, которая содержит перечень классов классификации (1–7-й классы), площади данных классов и их процентное соотношение в общей площади (табл. 1, 2).

При анализе результатов вычисления кластеризованных растров спектральных индексов видно, что для обоих участков характерно отнесение к поврежденным лесным насаждениям пикселей преимущественно 4-го и 5-го классов. На эти классы

приходится в среднем 75–95 % всех выявленных повреждений: 50–65 % для 4-го класса и 25–30 % для 5-го класса. Если брать в учет только значения 4 класса, то лучший процент обнаружения по обоим участкам показали индексы DMCI, NDWI, PRSI. При одновременном учете двух классов наилучший результат дешифрирования поврежденных участков показал индекс NDWI, который позволяет идентифицировать 98,5 % и 96,9 % угнетенной растительности для участков «Малый Абакан» и «Столбы» соответственно.

Таблица 1. Вычисление площадей тематических классов классифицированных изображений (участок «Малый Абакан»)

№ класса	Наименование индекса, его площадь (га)					Наименование индекса, % соотношение				
	DMCI	RENDVI	PRSI	NDWI	WDRVI	DMCI	RENDVI	PRSI	NDWI	WDRVI
1	124,40	0,400	0,493		2,381	12,1	0,0	0,0	0,0	0,2
2	9,56	2,641	10,556		3,569	0,9	0,3	1,0	0,0	0,3
3	2,79	4,029	145,35	4,778	7,127	0,3	0,4	14,1	0,5	0,7
4	**678,67**	10,276	**588,97**	**565,36**	80,956	**66,0**	1,0	**57,3**	**55,0**	7,9
5	206,39	336,57	248,17	447,24	**671,70**	20,1	32,7	24,1	43,5	**65,3**
6	2,955	**642,56**	31,425	7,591	246,26	0,3	**62,5**	3,1	0,7	24,0
7	0,200	28,494	0,005		12,978	0,0	2,8	0,0	0,0	1,3
	1024,97	*1024,97*	*1024,97*	*1024,97*	*1024,97*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*

Таблица 2. Вычисление площадей тематических классов классифицированных изображений (участок «Столбы»)

№ класса	Наименование индекса, его площадь (га)					Наименование индекса, % соотношение				
	DMCI	RENDVI	PRSI	NDWI	WDRVI	DMCI	RENDVI	PRSI	NDWI	WDRVI
1	0,120		3,910			0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
2	16,982	0,900	221,282		150,244	0,6	0,0	8,4	0,0	5,7
3	274,497	120,488	344,670	20,036	309,690	10,5	4,6	13,1	0,8	11,8
4	**1502,21**	221,007	**1418,03**	**1279,02**	**1332,41**	**57,3**	8,4	**54,1**	**48,8**	**50,8**
5	777,10	**1040,35**	559,672	1261,22	677,258	29,6	**39,7**	21,3	48,1	25,8
6	51,175	905,692	74,356	61,749	130,263	2,0	34,5	2,8	2,4	5,0
7		333,657	0,175		22,225	0,0	12,7	0,0	0,0	0,8
	2622,1	*2622,1*	*2622,1*	*2622,02*	*2622,1*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*

Заключение. Результаты проделанной работы являются очередным подтверждением того, что без совместного использования методов дистанционных наблюдений и наземного мониторинга лесной растительности сложно адекватно оценить ситуацию, сложившуюся на территориях, поврежденных насекомыми-вредителями. Проведенный анализ применимости использования данных со спутника Sentinel-2 для дешифрирования кедровых насаждений, поврежденных шестизубым короедом, и насаждений пихты сибирской, поврежденных полиграфом уссурийским, с использованием стандартных спектральных индексов полностью удовлетворил поставленным нами целям.

Сравнивая результаты расчетов индексов с верифицированными наземными данными, можно заключить следующее: 1) проведенный статистический анализ спектральных индексов показывает, что их среднеарифметические значения для усыхающих и здоровых насаждений различаются достоверно; 2) для оперативного картирования больших территорий и фиксации пространственно-временных изменений насаждений и распространения очагов вредителей метод неконтролируемой

классификации в автоматическом режиме по растрированным данным спектральных индексов значительно экономит временные и трудозатраты и при этом показывает высокую точность определения поврежденных насаждений; 3) наилучший результат дешифрирования участков, поврежденных насекомыми-вредителями, на тестовых территориях показал индекс NDWI, который по данным спутника Sentinel-2 позволяет идентифицировать до 98,5 % угнетенной растительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаева И.Л.* Мониторинг вспышки размножения короеда шестизубчатого – *Ips exdentatus* Boern. на сосне сибирской (участок «Малый Абакан» заповедника «Хакасский») // Успехи современного естествознания. 2018. № 12–1.С. 50–56.
2. *Кнорре А.А., Разнобарский В.Г., Вагнорюс П.А., Шайдуров Р.Л., Лесников Е.М., Астапенко С.А., Акулов Е.Н.* Угроза исчезновения пихтовых древостоев в заповеднике «Столбы» в результате инвазии полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandf.) // Труды гос. заповедника «Столбы». Красноярск, 2015. Вып. 20. С. 211–222.
3. *Скрипачев В.О., Зубков И.А.* Применение алгоритмов неконтролируемой классификации при обработке данных ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: 4-я Всерос. откр. конф., 13–17 ноября 2006 г., Москва, ИКИ РАН. С. 57–62.
4. *Черепанов А.С.* Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. № 2. С. 98–102.

УДК 630*453:595.768.24 (1-925.16)

ИНВАЗИЯ УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА *POLYGRAPHUS PROXIMUS* BLANDFORD В ТЕМНОХВОЙНУЮ ТАЙГУ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ (ХРЕБЕТ ХАМАР-ДАБАН)

С.О. БЫСТРОВ, Т.И. МОРОЗОВА, В.И. ВОРОНИН, В.А. ОСКОЛКОВ

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия (bioin@sifibr.irk.ru)

Установлена инвазия уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandford в темнохвойную тайгу Южного Прибайкалья (хребет Хамар-Дабан). Развитие двух серьезных угроз, таких как произошедшая эпидемия бактериальной водянки и инвазия уссурийского полиграфа, в корне меняет лесопатологическую ситуацию – под угрозой оказывается существование темнохвойных лесов Южного Прибайкалья как экосистемы.

INVASION OF THE FOUR-EYED FIR BARK BEETLE *POLYGRAPHUS PROXIMUS* BLANDFORD IN THE DARK CONIFEROUS TAIGA OF BAIKAL REGION (CHAMAR-DABAN RIDGE)

S.O. BYSTROV, T.I. MOROZOVA, V.I. VORONIN, V.A. OSKOLKOV

Siberian institute of plant physiology and biochemistry of SB RAS, Irkutsk, Russia (bioin@sifibr.irk.ru)

An invasion of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford into the dark coniferous taiga of the Southern Baikal region (Khamar-Daban range) has been discovered. The development of two serious threats, such as the outbreak of bacterial dropsy and the invasion of four-eyed fir bark beetle, radically changes the forest pathology situation: the existence of dark coniferous forests of the Southern Baikal region as the ecosystem is threatened.

Уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* Blandford был завезен в Южную Сибирь с Дальнего Востока с лесоматериалами из пихты примерно в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого столетия [2]. Первичный (естественный) ареал вида – Дальний Восток, Северо-Восточный Китай, Корея и Япония. В России он отмечен в таких регионах, как Хабаровский край, Приморский край, остров Сахалин, Курильские острова [8]. Вторичный (инвазивный) ареал в Сибири охватывает Томскую, Кемеровскую, Новосибирскую области, Алтайский и Красноярский края, республики Алтай и Хакасия [7]. Обнаружен в Ленинградской и Московской областях, в том числе в Главном ботаническом саду РАН (Москва) [9, 10]. К настоящему времени *P. proximus* распространился в равнинных и горных районах Южной Сибири и занимает около трети ареала пихты сибирской в России [7]. В ходе специального обследования пихтовых древостоев в 2013–2014 гг. в Южном Прибайкалье уссурийский полиграф не был зафиксирован [6]. В то же время участники обследования сделали вывод, что вполне реальна перспектива дальнейшего расширения его ареала на этот регион в результате завоза и самостоятельного расселения инвайдера. Наши результаты демонстрируют справедливость данного предположения. Обследование лесных массивов производилось маршрутным методом в сентябре 2018 г. Насекомые собирались из-под коры деревьев, имеющих характерные признаки повреждений – натеки смолы на стволах [1]. Всего обследовали 30 деревьев, в числе которых было 5 деревьев старого сухостоя (6 категория), 3 – свежего сухостоя (5 категория), 17 деревьев 3–4 категории состояния и 5 деревьев 2 категории состояния, со следами попыток заселения. С заселенных деревьев было собрано 57 жуков уссурийского полиграфа. В лабораторных условиях под микроскопом производилось таксономическое определение собранных жуков по характерным признакам: наличию шестичленикового жгутика и разделенного на две части фасеточного глаза [1]. Для

установления даты первичного заселения деревьев инвайдером с ветровальных и живых деревьев приростным буравом были отобраны 10 кернов древесины. Дендрохронологические исследования проводились по общепринятой методике [12]. Стандартизация абсолютных (измеренных) величин радиального прироста осуществлялась программой R из программного пакета Detrender [11].

В Южном Прибайкалье уссурийский полиграф впервые был обнаружен С.О. Быстровым летом 2017 г. в припоселковом лесу (пос. Утулик, 51°32′12″ с. ш., 104°02′47″ в. д., – предполагаемый участок первичного внедрения инвайдера), а затем и в пихтовом древостое в урочище «Ручей Ермолинский» (западный склон, 51°32′08″ с. ш., 104°00′29″ в. д.), примерно в пяти километрах от места первичного вселения. Эти участки и были нами повторно обследованы в 2018 г. В первом местообитании лес смешанный, кедрово-пихтово-березово-разнотравный (состав древостоя 4К4П2Б). Лесной массив верховья ручья Ермолаевского представлен пихтовником папоротниковым (состав древостоя 10П).

При обследовании было обнаружено практически повсеместное заселение пихты полиграфом в припоселковом древостое Утулика. Там наличествовали как уже отработанные полиграфом деревья (еще стоящие на корню) и ветровальный валеж, так и живые деревья, заселенные вредителем или имеющие следы попыток внедрения жуков. Под корой живых заселенных деревьев были видны маточные и личиночные ходы, в которых в большом количестве обнаружились имаго уссурийского полиграфа. По дендрохронологическим данным установлена давность первых фактов заселения пихты полиграфом для данного региона – не позже 2004 г., сразу после жесткой засухи 2003 г. Давность заселения пихты уссурийским полиграфом определена по отработанному валежнику. Два дерева выпали из состава древостоя в 2004 году и были полностью отработаны вредителем. Поскольку полиграф атакует или ослабленные деревья, или свежий сухостой, то очевидно, что ветровальный валеж был заселен не позже, чем в первый год после падения. Деревья на протяжении десятилетия перед заселением имели низкий радиальный прирост. Сходная тенденция была обнаружена в пихтовниках Красноярского края, погибших от данного вредителя, – первыми пострадали угнетенные деревья, которые имели на протяжении длительного времени сниженный радиальный прирост [2].

Заселению вредителем здоровых деревьев пихты в Южном Прибайкалье способствовали три обстоятельства, снижающих устойчивость деревьев: 1) затяжной маловодный период на Байкале; 2) появление часто повторяющихся затяжных зимне-весенних оттепелей, вызывающих физиологические повреждения ассимиляционного аппарата деревьев [13]; 3) предварительное ослабление деревьев бактериальной водянкой [3]. Размножение стволовых вредителей, как правило, является следствием ослабления лесов и финальным биотическим фактором, приводящим к гибели деревьев и деградации насаждений [5]. В результате инвазии уссурийского полиграфа прибайкальские пихтовые леса, ослабленные климатическими факторами и бактериальной водянкой, развившейся на их фоне, оказались под воздействием дополнительного мощного вторичного стрессового фактора. В настоящее время уссурийский полиграф не только становится одним из самых агрессивных физиологических вредителей пихты сибирской, но и приобретает статус инвазионного вида-трансформера [14], способного изменить экосистему сибирских темнохвойных лесов на большой площади [5]. Кроме того, настораживает тот факт, что лабораторные эксперименты, проведенные в ИМКЭС СО РАН [4] с заселением отрубков сибирских пород хвойных деревьев, в частности, кедра, показали потенциальную возможность освоения его уссурийским полиграфом. В настоящее время кедровые древостои на протяжении всего хребта Хамар-Дабан в разной степени ослаблены бактериальной

водянкой, и возможность их дополнительного ослабления уссурийским полиграфом не исключена.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баранчиков Ю.Н., Петько В.М., Астапенко С.А., Акулов Е.Н., Кривец С.А.* Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири // Лесной вестник. 2011. Вып. 4. С.78–81.
2. *Баранчиков Ю.Н., Демидко Д.А., Лаптев А.В., Петько В.М.* Динамика отмирания пихты сибирской в очаге уссурийского полиграфа // Лесной вестник. 2014. № 6. С. 132–138.
3. *Воронин В.И., Морозова Т.И., Ставников Д.Ю., Нечесов И.А., Осколков В.А., Буянтуев В.А., Михайлов Ю.З., Говорин Я.В., Середкин А.Д., Шуварков М.А.* Бактериальное повреждение кедровых лесов Прибайкалья // Лесн. хоз-во. 2013. № 3. С. 39–41.
4. *Керчев И.А.* Экспериментальное исследование возможности возникновения новых трофических связей полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandf. (*Coleoptera, Scolytidae*) в Западной Сибири // Вестн. Томского гос. универ. Биология. 2012. № 3 (19). С. 169–177.
5. *Керчев И.А.* Экология уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в западносибирском регионе инвазии: автореф. дисс. … канд. биол. наук: 03.02.08. Томск: Томский государственный университет, 2013. 23 с.
6. *Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э.М, Демидко Д.А., Петько В.М., Баранчиков Ю.Н.* Распространение уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf. (*Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae*) в Сибири // Изв. СПб. лесотехнической академии. 2014. Вып. 207. С. 33–45.
7. *Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э.М., Пашенова Н.В., Демидко Д.А., Петько В.М., Баранчиков Ю.Н.* Уссурийский полиграф в лесах Сибири (распространение, биология, экология, выявление и обследование поврежденных насаждений). Методическое пособие. Томск – Красноярск: Изд-во «Умиум», 2015. 48 с.
8. *Криволуцкая Г.О.* Короеды острова Сахалина. М. –Л.: Изд-во АН СССР, 1958. 196 с.
9. *Серая Л.Г., Пашенова Н.В., Мухина Л.Н., Дымович А.В., Александрова М.С., Баранчиков Ю.Н.* Повреждаемость видов рода *Abies* Mill. в коллекции Главного ботанического сада РАН уссурийским полиграфом *Polygraphus proximus* Blandf. и его грибными ассоциантами // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика. Мат. Всерос. науч. конф. с межд. уч., Красноярск, 16–19 сентября 2014 г. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 649–652.
10. *Чилахсаева Е.А.* Первая находка *Polygraphus proximus* (Coleoptera, Scoliytidae) в Московской области // Бюлл. МОИП. Отдел биол. 2008. Т. 113. № 6. С. 39–42.
11. *Campelo F., García-González I., Nabais C. DetrendeR*–A Graphical User Interface to process and visualize tree-ring data using R // Dendrochronologia. 2012. T. 30. №. 1. P. 57–60.
12. *Cook E.R., Kairiukstis L.A.* Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Springer, 1990. 155 p.
13. *Voronin V.I., Krasnobaev V.A.* Determination of phenological periods of trees by the method of conductometry // IJEES. 2018. V. 8 (2). P. 283–292.
14. *Wells M.J., Poynton R.J., Balsinhas A.A., Musil C.F., Joffe H., van Hoepen E. & Abbott S.K.* The history of introduction of invasive alien plants to southern Africa // The Ecology and Management of Biological Invasions in Southern Africa / Ed. by I.A.W. Macdonald, F.J. Kruger & A.A. Ferrar. Oxford University Press, 1986. P. 21–35.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-29-05074.

УДК 630*43

ПРОБЛЕМА ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ В РОССИИ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Э.Н. ВАЛЕНДИК, Г.А. ИВАНОВА, Е.К. КИСИЛЯХОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (yegor@ksc.krasn.ru)

Рассматриваются проблемы природных пожаров и предлагаются некоторые пути их решения.

WILDFIRES PROBLEMS IN RUSSIA AND SOME WAYS TO THEIR SOLUTION

E.N. VALENDIK, G.A. IVANOVA, E.K. KISILYAKHOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (yegor@ksc.krasn.ru)

The problems of wildfires are considered and some ways of their solution are offered.

Любой пожар, возникший на природных землях, независимо от источников возгорания, убытков или выгод относится к природным пожарам. Выделяются пожары степные, лесоболотные, почвенно-торфяные, тундровые и лесные.

Катастрофические природные пожары возникают не только в лесных районах России, но и в других природных зонах, начиная с тундры, кончая степью и лесостепью. Катастрофическим считается пожар, который имеет значительное негативное влияние на устойчивость экосистем, человеческие ценности и имущество.

Степные пожары – это неуправляемое горение, стихийно распространяющееся по площади, занятой травяной растительностью в степи и лесостепи. Массовые степные пожары – широко распространенное явление как на территории России, так и за рубежом.

Обобщая статистические данные за период 2008–2017 гг., можно констатировать, что до 15 % от общего числа весенних травяных пожаров фиксируется после схода снега в марте, не менее 54 % – в течение апреля и 31 % – в мае [1]. Около 60 % всех площадей весенних травяных пожаров (в среднем 2,6 млн га) приходятся на пожары, фиксируемые в апреле. Результаты интерполяции плотности пожаров в весенний период по территории степной и лесостепной зон характеризуют пространственно-временные закономерности возникновения весенних пожаров на юге Сибири. В современных условиях возникновение и распространение катастрофических степных пожаров в Сибири определяется аномалиями гидрометеорологических условий, а отсутствие комплексной системы превентивных мер на местах ограничивает возможность минимизировать последствия таких пожаров в ближайшем будущем.

Анализ проблемы степных пожаров показывает ее системный характер. Альтернативные пути решения, устранение причин этого явления необходимо вырабатывать на федеральном уровне, привлекая административные, научные и ведомственные ресурсы. В частности, целесообразно основные усилия направлять не на ликвидацию пожаров и их последствий, а на реализацию комплексных превентивных мер по защите конкретных объектов экономики. Соответствующий план по формированию системы противопожарной защиты экономических объектов от степных пожаров, рассчитанный на длительный период, должен быть включен в список стратегических направлений развития страны. При этом технологии создания противопожарных заградительных барьеров, останавливающих распространение степных пожаров, а также предотвращающих перенос горящих частиц на жилые и хозяйственные постройки населенных пунктов, позволит получить экономический эффект в народном хозяйстве за счет существенного сокращения расходов на восстановление сгоревших населенных пунктов, сохранения жизни людей и сельскохозяйственных животных.

Многочисленные возгорания торфяников в Центральной России, Уральском и

Сибирском федеральном округах представляют огромную проблему из-за выделения большого количества дыма, который приводит к задымлению значительных территорий. Скорость распространения такого пожара – несколько метров в сутки. Для тушения пожаров торфа применяется окапывание канавами, используются специальные водные стволы, погружаемые в почву; предотвратить возгорание позволяет обводнение торфяников. В июле – августе 2010 года на всей территории европейской части страны из-за малоподвижного антициклона установилась аномальная жара, рекордная за более чем 130-летнюю историю метеонаблюдений. Практически во всех регионах РФ температура воздуха приближалась к 40-градусной отметке, а в отдельных областях превысила этот показатель. Из-за экстремальной жары ухудшилась экологическая обстановка, активизировались торфяные и лесные пожары – всего было зафиксировано 34,8 тыс. очагов природных пожаров общей площадью около 2 млн га, в том числе более 1 тыс. торфяных. В августе чрезвычайная ситуация была объявлена в семи регионах страны, где положение оказалось особенно серьезным, – в республиках Марий Эл и Мордовия, Владимирской, Воронежской, Московской, Нижегородской и Рязанской областях. По данным МЧС, всего от пожаров и вызванного ими смога пострадали 17 регионов, более 2,5 тыс. семей остались без крова, более 60 человек погибли в огне и от отравления продуктами горения, ущерб оценивался в 85,5 млрд руб.

События 2017 года в ЯНАО лишний раз доказывают, что с потеплением климата большие природные пожары постепенно смещаются в северные регионы. В июле 2017 г. на большей части автономного округа установилась погода с высокой температурой воздуха (выше +28 градусов) и грозами. Огнем за весь сезон было охвачено 219 895 га. Считают, что пожары в таких северных регионах наносят минимальный ущерб из-за малоценности лесов. Однако из-за близости к Арктике выбросы черного углерода непосредственно влияют на таяние арктических льдов, которое становится более интенсивным, что вместе с дополнительными выбросами парниковых газов оказывает влияние на изменение климата в глобальном масштабе.

Особую проблему представляют крупные лесные пожары, на которые приходится до 90 % причиненного ущерба. Развитие лесных пожаров до крупных размеров обусловлено рядом факторов, в том числе природных и организационно-технических. Они взаимосвязаны, и определенные их сочетания создают те условия, в которых небольшой пожар развивается до крупного.

Возникновение и распространение крупных и катастрофических пожаров в подзонах тайги обусловлены особенностями лесного покрова и аномальными гидрометеорологическими условиями, связанными с планетарными атмосферными циркуляциями в Северном полушарии [2]. За последние десятилетия в Центральной Сибири засухи разной продолжительности и интенсивности ежегодно наблюдались поочередно во всех подзонах тайги, и как отклик на них происходило массовое возникновение крупных пожаров. Наиболее продолжительными засухи были в подзонах средней тайги, менее продолжительными, но более частыми, – в южной тайге. В горно-таежных темнохвойных лесах юга Сибири длительные засухи редки. Особенности климатических изменений в сторону потепления могут спровоцировать эскалации крупных пожаров в северные широты, а также увеличить частоту засух в горных лесах юга Сибири, отличающихся в настоящее время обилием осадков, и повысить угрозу разрушительных пожаров.

Основным направлением фундаментальных исследований в будущем должно стать изучение воздействия пожаров на лесные экосистемы на региональном и глобальном уровнях и на биосферу в целом при аномальных климатических изменениях.

Коренное усовершенствование системы охраны лесов от пожаров является неотложной государственной задачей сегодняшнего дня. Решение этой комплексной проблемы должно включать [3]:

1. Изучение влияния лесных пожаров как природного постоянно действующего фактора на экосистемы в бореальных лесах при аномальных климатических условиях.
2. Разработку предельно допустимых норм естественного воздействия пожаров на лесные ресурсы и биоразнообразие.
3. Разработку научных основ долгосрочного прогнозирования воздействия пожаров на лесные биоресурсы крупных экосистем и биосферу в целом.
4. Системный анализ и оценку региональных пожарных режимов и разработку нормативной базы региональной системы охраны лесов России от пожаров.

Все это позволит оценить будущее бореальных лесов под непрерывным воздействием антропогенного пресса при аномальных климатических условиях.

В организационно-правовом аспекте необходимо:

1. Разработать новую доктрину охраны лесов от пожаров и перейти к политике пожароуправления в бореальных лесах.
2. Разработать новое/усовершенствованное законодательство и создать институциональные структуры пожароуправления, ориентированные на вызовы меняющегося климата.
3. Усовершенствовать систему лесного мониторинга послепожарного состояния лесов и динамики лесных экосистем под влиянием изменяющихся антропогенного пресса и климата.
4. Узаконить на федеральном уровне технологии контролируемых выжиганий участков лесных территорий (профилактических палов) с целью уменьшения угрозы возникновения катастрофических пожаров (вблизи населенных пунктов, ценных лесных массивов и т. д.).
5. Разработать технологии лесопожарной паспортизации лесных массивов, вовлекаемых в хозяйственную деятельность, с целью оптимального пожароуправления в арендуемых лесах для обеспечения их охраны и лесовосстановления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Валендик Э.Н., Кисиляхов Е.К., Пономарев Е.И., Косов И.В., Лобанов А.И., Дугаржав Ч.* Природа степных пожаров в Сибири и Монголии // Сибирский лесной журнал. 2018. 4. С. 3–12.
2. *Валендик Э.Н., Кисиляхов Е.К., Рыжкова В.А., Пономарев Е.И., Голдаммер Й.Г.* Лесные пожары в Средней Сибири при аномальных погодных условиях // Сибирский лесной журнал. 2014. 3. С. 43–52.
3. *Валендик Э.Н., Кисиляхов Е.К.* Лесные пожары в Евразии: проблемы и пути их решения // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: материалы Всерос. конф., 16–19 сент. 2014 г., ИЛ СО РАН, Красноярск. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 177–179.

УДК*228.7+630*161.4(571.51/.52)

РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОСНОВЫХ И ЛИСТВЕННИЧНЫХ КУЛЬТУР В СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Г.С. ВАРАКСИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (var@ksc.krasn.ru)

На основании исследований, проведенных в лесостепной и таежной зонах Средней Сибири, установлено, что культуры сосны обыкновенной и лиственницы сибирской имеют высокий запас древесины и относятся к I классу бонитета.

THE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF PINE AND LARCH CROPS IN THE CENTRAL SIBERIA

G. S. VARAKSIN

V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (var@ksc.krasn.ru)

Based on the studies in forest-steppe and taiga zones of the Central Siberia it has been revealed, that Scotch pine and the Siberian larch forest crops has big timber stock and the 1st class of productivity (bonitet).

Одним из важнейших мероприятий в проблеме повышения продуктивности лесных насаждений является использование при искусственном лесовосстановлении хозяйственно ценных и быстрорастущих древесных видов. В условиях Средней Сибири к их числу относятся сосна обыкновенная и лиственница сибирская. Они характеризуются самым быстрым ростом среди местных хвойных, устойчивостью к неблагоприятным климатическим и почвенным условиям, долговечны, обладают высококачественной древесиной и формируют насаждения с лучшими водоохранными, почво- и ветрозащитными свойствами.

Продуктивность и ход роста культур изучали в чистых (ПП-2) и смешанных (ПП-1) опытных и производственных культурах (ПП-3–7), произрастающих в лесостепной и таежной зонах Средней Сибири. Всего заложено 8 пробных площадей. Натурные работы выполнены по ОСТ 16128-90 «Пробные площади лесоустроительные». Полученные данные проанализированы в системе STATISTICA 6. Существенность различия естественных совокупностей оценивали по критерию F Р. Фишера на уровне значимости p = 0,95 (α = 0,05).

Исследовали опытный участок 19-летних культур, заложенных в Таловском участковом лесничестве Большемуртинского лесничества под методическим руководством Г.С. Вараксина и А.П. Витальева. Площадь участка 10 га. Местоположение возвышенное ровное. До рубки на месте произрастал пихтач разнотравно-зеленомошный.

Анализ таксационных показателей свидетельствует об их хорошем состоянии. Наиболее высокие показатели роста отмечаются у сосны (табл. 1).

В табл. 1 данные таксации представлены с выделением основной (оставляемой) и отставшей в росте (вырубаемой) частей древостоев. Древостои оставляемой части сосны и лиственницы растут по I классу бонитета. Доля отставших в росте экземпляров сосны сравнительно невелика (13–20 %). И напротив, дифференциация полога лиственницы как в чистых, так и в смешанных с сосной культурах весьма значительна. Процент отставших в росте деревьев достигает 36–38 % от общего количества.

В чистых культурах лиственница растет лучше, чем в смешанных с сосной. Средний диаметр чистых культур лиственницы достоверно выше среднего диаметра ее примеси к сосне ($D_{Л\ ч.}$=6,3 см > $D_{Л\ см.}$=5,3 см, F=8,29 > F_{st}=3,84). При этом различие в высотах несущественно ($H_{Л\ ч}$=6,79 м ≈ $H_{Л\ см.}$=6,65 м).

Таблица 1. Таксационная характеристика лесных культур по элементам леса на 1 га

№ ПП	Порода	Оставляемая часть							Вырубаемая часть				
		D, см	H, м	$H_{нк}$, м	$\sum G$, м^2	M, м^3	N, шт.	Полнота	D, см	H, м	$\sum G$, м^2	M, м^{3}о	N, шт.
1	С	11,8	8,5	3,1	16,67	72	1500	0,6	5,3	6,4	0,48	2	220
	Л	7,1	8,1	1,7	5,70	24	1400	0,2	2,6	4,9	0,47	1	860
2	Л	8,4	8,2	1,3	14,93	63	2700	0,6	3,1	4,8	1,12	3	1490

Наши исследования [1, 3] показывают, что при соблюдении определенных технологических приемов выращивания светлохвойных культур на участках из-под темнохвойных лесов сосна и лиственница одинаково хорошо приживаются и растут примерно в одинаковом темпе. В чистых культурах лиственница росла с некоторым незначительным опережением по высоте, а сосна – с опережением по диаметру. В 14 лет обе породы достигли 5,6–5,7 м высоты [2].

При смешении с лиственницей рядами сосна растет лучше. Различие по диаметру несущественно, однако различия по высоте и высоте начала живой кроны являются значимыми ($H_{С\,ПП\,1}$=8,21 м > $H_{С\,ПП\,2}$=7,65 м при F=10,5 > F_{st}=3,84 и $H_{нк\ С\,ПП\,1}$=3,07 м > $H_{нк\ С\,ПП\,2}$=2,36 м при F=61,5 > F_{st}=3,84). С лиственницей сосна быстрее растет в высоту и лучше очищается от сучьев. Примесь лиственницы в культурах сосны при смешении рядами по схеме С–Л–С благоприятна для сосны и отвечает составу естественных древостоев.

На рис. 1 видно, что модели сосны и лиственницы в высоту и по диаметру росли в целом синхронно. При этом сосна незначительно опережала лиственницу по высоте и в большей степени по диаметру. Высоты груди (1,3 м) сосна достигла 12 лет назад, а лиственница на год позже. Их рост в толщину (по $d_{1.3}$ и d_0) отличался большей стабильностью. Вследствие этого разница в диаметрах между сосной и лиственницей постоянно возрастала.

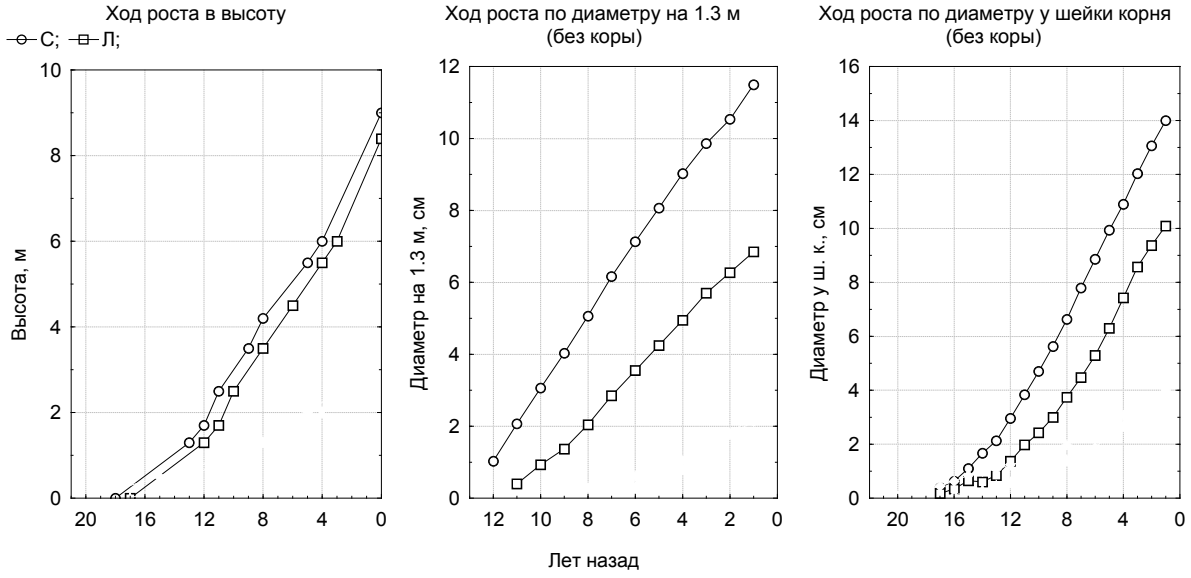


Рис. 1. Ход роста культур в высоту и по диаметру на высоте груди и у шейки корня (по данным модельных деревьев)

Продуктивность и ход роста в производственных культурах изучали на пяти пробных площадях. ПП 6 и 7 (табл. 1) заложены в Гремячинском участковом лесничестве Боготольского лесничества в лесостепной зоне. Культуры на площади 4 га в настоящее время отнесены к памятникам природы. ПП 3–5 заложены в Южно-Кытатском участковом лесничестве Ачинского лесничества.

Приведенные в табл. 2 данные показывают, что сосновые и лиственничные культуры, произрастающие в таежной и лесостепной зонах, имеют высокий запас древесины в возрасте 40, 50 и 118 лет и относятся к I классу бонитета.

Таблица 2. Таксационная характеристика насаждений, произрастающих в разных лесорастительных зонах

Пр. пл.	Состав	Возраст, лет	Средние		Сумма площ. сеч., $м^2$	Запас, $м^3$		Густота, шт./га		Ср. объем ствола, $м^3$	Бонитет
			Диаметр, см	Высота, м		Растущего	Сухостоя	Растущего	Сухостоя		
6	10С	118	33,5	30,5	56,09	792	32	624	32	1,27	I
7	10Л	118	32,6	30,1	51,41	714	3	614	21	1,16	I
4	10С	40	17,6	17,1	48,30	411	37	1992	833	0,21	I
5	10С	50	34,5	22,0	38,19	408	6	408	33	1,00	I
3	10Л	40	18,1	18,8	32,29	305	15	1255	943	0,24	I
8	5П2Е1К1С1Лц	С-190	40,0	27,0	19,81	247		-	-	1,5	II
		П-190	24,0	23,2	-	-	-	-	-	0,41	III
		Е-190	32,0	25,0о	-	-	-	-	-	0,92	III
		К-190	27,0	23,4	-	-	-	-	-	0,70	III
		Л-200	56,0	31,0	-	-	-	-	-	3,64	I

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что культуры сосны и лиственницы, созданные посевом семян на дренированных почвах из-под пихтарников разнотравных, в 40 лет имеют общий запас древесины соответственно 411 и 305 $м^3$/га. Сосновые культуры, заложенные 2-летними сеянцами в этих же условиях, в 50 лет имеют общий запас древесины 408 $м^3$/га. Практически одинаковый запас древесины в сосновых культурах в 40- и 50-летнем возрастах объясняется разной фактической густотой деревьев в них. В 50-летних культурах количество деревьев на 1 га – 408 (в настоящее время это постоянный лесосеменной участок), а в 40-летних – 1192. В 40-летних культурах лиственницы фактическая густота составляет 1255 шт./га. В лесостепной зоне сосновые и лиственничные культуры, созданные на дренированных почвах из-под сосняка разнотравного посадкой 2-летними сеянцами, в возрасте 118 лет имеют общий запас древесины соответственно 792 и 714 $м^3$/га при фактической густоте 624 и 614 шт./га.

В районе исследований культур сосны обыкновенной и лиственницы сибирской, произрастающих в таежной зоне, на момент исследований деревьев в возрасте старше 50 лет нами найдено не было. Поэтому проведено изучение роста деревьев хвойных видов естественного происхождения в возрасте 190–200 лет. Это участок площадью 11 га, где произрастают все представители хвойных пород: сосна обыкновенная, кедр сибирский, лиственница сибирская, ель сибирская и пихта сибирская. Из таксационной характеристики древостоя этой пробной площади видно (табл. 2), что в этих условиях лиственница сибирская (I класс бонитета) и сосна обыкновенная (II класс бонитета) более продуктивны, чем ель сибирская, кедр сибирский и пихта сибирская [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вараксин Г.С.* Рост сосновых культур в подзоне южной тайги // Лесное хоз-во. 1987. 1. С. 36–37.
2. *Вараксин Г.С., Поляков В.И., Инюшкин С.В.* Оценка состояния и роста опытных культур сосны и лиственницы в подзоне южной тайги Средней Сибири // Лесохозяйственная информация. 2002. 9. С. 23–28.
3. *Культуры* сосны обыкновенной в Красноярском крае/ Г.С. Вараксин, И.Ю. Коропачинский. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 84 с.
4. *Лесные* культуры в равнинной подзоне южной тайги Сибири/ Г.С. Вараксин. Красноярск: Изд-во КрасГАУ, Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2013. 251 с.

УДК 630.43

УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИРОДЫ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИМИ

А.В. ВОЛОКИТИНА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (volokit@ksc.krasn.ru)

При управлении лесными пожарами необходимо учитывать следующие их особенности: неравномерность распространения в пространстве и во времени, труднодоступность и удаленность, сочетание прямых и косвенных воздействий на экосистемы. Возникновение пожара и характер его поведения зависят от множества разнообразных факторов.

TAKING INTO ACCOUNT OF FOREST FIRE NATURE FOR FIRE MANAGEMENT

A.V. VOLOKITINA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (volokit@ksc.krasn.ru)

For forest fire management, it is necessary to take into account the following features of forest fires: irregular spread in space and time, difficulty of access and remoteness, combinations of direct and indirect influences on ecosystems, fire occurrence and fire behavior – depend on a number of different factors.

Мировой опыт убеждает, что невозможно решить проблему тушения лесных пожаров только за счет совершенствования и наращивания технической мощи, что обусловлено особенностями природы данного явления. В настоящее время в соответствии с экологическим мышлением лесные пожары рассматриваются как периодически действующий природно-антропогенный фактор, последствия которого зависят от условий горения и характера экосистем. Сама борьба с пожарами становится лишь элементом в системе управления пожарами, которое включает профилактику, контролирование (мониторинг), тушение пожаров, а также использование положительного влияния огня.

Первой особенностью природы лесных пожаров является их очень большая неравномерность распределения в пространстве и во времени. Она выражается в виде вспышек массовых пожаров в отдельных регионах в отдельные годы. Экономически невозможно содержать в каждом регионе силы и средства пожарной охраны, которые были бы способны справляться с подобными вспышками у себя в районе. Необходимы маневрирование силами лесопожарной охраны в пределах очень крупных территорий, их своевременное сосредоточение в опасных районах. Для этого требуются совершенная оценка пожарной опасности как по условиям погоды, так и природной, ее мониторинг и прогноз. Мониторинг пожарной опасности необходимо сочетать с мониторингом действующих пожаров.

Разработаны методические рекомендации по совершенствованию оценки пожарной опасности (ПО) в лесу. Для совершенствования оценки ПО по условиям погоды предлагается использовать показатель ИЛ СО РАН, учитывающий влагосодержание напочвенных горючих материалов и «работающий» при отрицательных температурах. Последнее очень важно для регионов Забайкалья и Дальнего Востока. Оценку природной пожарной опасности (ППО) предложено выполнять, используя карты растительных горючих материалов (карты РГМ). Разработан алгоритм программы автоматизированного составления региональных шкал ПО, опосредованно основанных на оценке ППО и ПО по условиям погоды. Данная программа позволит составлять сопоставимые региональные шкалы, что особенно важно для маневрирования силами и средствами лесопожарной охраны [3].

Вторая особенность – это возникновение значительной доли пожаров на труднодоступных и удаленных частях территории (особенно в Сибири). Это затрудняет

доставку и использование мощных технических средств и значительно удорожает контролирование пожаров. Экономное и эффективное управление действующими пожарами с помощью недорогих средств и с малыми затратами можно осуществлять лишь при условии своевременного обнаружения пожаров на основе совершенной оценки природной пожарной опасности (включая текущую пожарную опасность) и при составлении оптимальных планов контролирования пожаров на основе прогноза их поведения и последствий. Необходимо создание информационной базы для прогноза возникновения, поведения и последствий пожаров.

Разработана принципиальная схема прогноза поведения пожара, включающая постоянную и текущую информацию. К текущей относятся метеорологическая информация и сведения о периодах лесопожарного сезона. Основную часть постоянной информационной базы формируют модель распространения горения по территории и карты растительных горючих материалов (карты РГМ), составленные в ГИС на основе использования классификации РГМ с их характеристиками [1] и лесоустроительной информации. Кроме того, разработан способ автономного составления карт РГМ на основе использования космоснимков высокого и сверхвысокого разрешения [7]. Разработаны и зарегистрированы компьютерные программы по составлению карт РГМ и прогнозу поведения пожаров [4, 5]. Примером созданной информационной базы могут служить карты РГМ на Чунское лесничество (Красноярский край) и на ряд заповедников («Столбы», «Саяно-Шушенский», «Кузнецкий Алатау», «Убсунурская котловина»).

На рис. 1 приведен пример прогноза поведения лесного пожара в Чунском участковом лесничестве (Красноярский край) по ретроспективным данным с использованием компьютерной программы [5], а в табл. 1 – характеристики пожара и расчет сил и средств для его тушения.

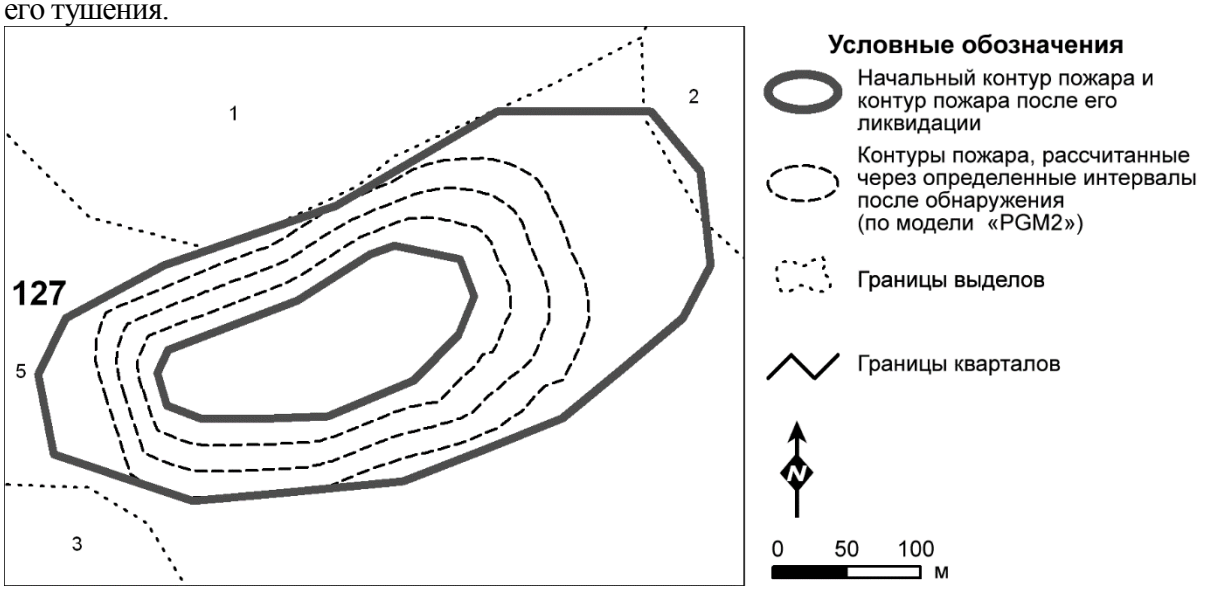


Рис. 1. Прогноз распространения лесного пожара № 5, обнаруженного 10 июня 2007 года в кв. 127 Чуноярского участкового лесничества на площади 1,5 га и ликвидированного 11 июня на площади 5 га

Третьей особенностью является то, что последствия пожаров представляют собой сочетания прямых воздействий на экосистемы с косвенными вероятностными проявлениями этих воздействий в будущем. Необходимо также учитывать, что сами затраты на лесопожарную охрану являются прямой потерей для общества, но они оправданы тем, что снижают ущерб от пожаров. Оптимальным для общества является такое положение, когда общая сумма убытков, состоящая из ущерба от пожаров и затрат на лесопожарную охрану, минимальна [2]. С целью оптимизации затрат на лесопожарную охрану необходима

разработка методики по денежной оценке разнообразных последствий от всей совокупности пожаров в целом в каждом районе (включая экологические последствия).

Четвертой особенностью является то обстоятельство, что условия возникновения пожара, характер его поведения и возможности его успешного контролирования зависят от сочетания множества самых разнообразных факторов, как прямых, так и косвенных, причем многие из факторов трудно формализовать, а некоторые невозможно предвидеть (например, поломку агрегата, поведение человека и т. д.). Это ограничивает использование готовых компьютерных решений без их анализа и корректировки на месте. Надежное тушение при умеренных затратах возможно, главным образом, за счет знаний, опыта, таланта руководителей и профессионализма лесных пожарных. Поэтому в лесопожарной охране желательно разработать систему оплаты труда, которая стимулирует эффективное, творческое управление пожарами при экономном расходовании средств.

Таблица 1. Характеристики пожара № 5 (2007 г.), рассчитанные в программе «PGM2»

Характеристика пожара	Время от начала прогноза, ч		
	1	2	3
Площадь пожара, га	2,6	3,8	5,2
Периметр пожара, м	650	770	900
Скорость увеличения периметра, м/час	120	110	125
Скорость увеличения площади, га/час	1,1	1,3	1,6
Средняя скорость фронта пожара, м/час	18	18	18
Средняя интенсивность кромки, кВт/м	35	35	35
Оценка силы пожара	Слабая	Слабая	Слабая
ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА			
Оптимальная скорость тушения, м/час	50	50	50
Минимальная ширина противопожарного барьера, м	3	3	3
Продолжительность тушения, час/площадь пожарища после тушения, га			
Рабочих 3	4,5 / 8	7 / 20	7 / 20
Рабочих 5	2 / 4	3 / 10	3 / 10
Рабочих 7	1,2 / 3,2	2 / 8	2 / 8
Рабочих 10	0,8 / 2,8	1,2 / 7	1,2 / 7
Рабочих 15	0,5 / 2,8	0,8 / 7	0,8 / 7

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волокитина А.В., Софронов М.А.* Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: СО РАН, 2002. 314 с.
2. *Волокитина А.В*., *Софронова Т.М.* Оптимизация затрат при тушении лесных пожаров // Лесохозяйственная информация. 2018. 2. С. 54–64.
3. *Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А.* Совершенствование оценки пожарной опасности в лесу. Методические рекомендации. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2018. 44 с.
4. *Корец М.А., Волокитина А.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660252. Программа для расчета пирологического описания лесоустроительных выделов. 2014.
5. *Корец М.А., Волокитина А.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661771. Программа для прогноза распространения низового пожара. 2015.
6. *Софронов М.А*. Лесные пожары в горах Южной Сибири. М.: Наука, 1967. 152 с.
7. *Софронова А.В., Волокитина А.В.* Картографирование растительных горючих материалов методом визуально-инструментального дешифрирования космических снимков // География и природные ресурсы. 2017. 4. С. 189–196.

УДК 630.43

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ШКАЛЫ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ЛЕСУ

А.В. ВОЛОКИТИНА[1], Т.М. СОФРОНОВА[2], М.А. КОРЕЦ[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (volokit@ksc.krasn.ru), (mik@ksc.krasn.ru)
[2] Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, Красноярск, Россия (tmsofronova@gmail.com)

Предложены усовершенствованные региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу на примере Чунского лесничества (Красноярский край), позволяющие более точно судить о возможной плотности действующих пожаров при каждом классе пожарной опасности.

REGIONAL SCALES OF FIRE DANGER RATING IN THE FOREST

A.V. VOLOKITINA[1], T.M. SOFRONOVA[2], M.A. KORETS[1]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (volokit@ksc.krasn.ru), (mik@ksc.krasn.ru)
[2] V.P. Astafiev Krasnoyarsk State Pedagogical University, Krasnoyarsk, Russia (tmsofronova@gmail.com)

Improved regional fire danger rating scales in the forest are suggested on the example of the Chunsky Forest Office (Krasnoyarsky krai), which allow to evaluate possible density of active fires by every class of fire danger more accurately.

Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу ранее назывались «местными шкалами пожарной опасности по условиям погоды», но прежнее название не совсем соответствует действительности, так как шкалы учитывают не только условия погоды, но косвенно и многие другие факторы, – то есть фактически с помощью таких шкал дается приближенная к реальной ежедневная оценка пожарной опасности в районе, определяемая комплексом факторов [7, 1]. Так, ежедневная пожарная опасность зависит еще и от характера и структуры растительного покрова, геоморфологических условий, густоты гидрологической и дорожной сети, количества источников загорания и т. д. Эти факторы отличаются в разных районах, т. е. для них характерна *пространственная динамика.* Кроме того, есть факторы, которые *медленно и закономерно изменяются в течение пожароопасного сезона,* например, фенологическое состояние растительности, грозовая активность, посещаемость леса людьми. В границах одного небольшого района и в пределах одного периода сезона все факторы, кроме погоды, кажутся постоянными, поэтому динамика пожарной опасности в этих границах и пределах определяется в основном динамикой погоды. Но в разных районах и в разные периоды сезона связь между погодой и уровнем ежедневной пожарной опасности всегда имеет различия, зачастую очень существенные, поскольку различаются комплексы остальных факторов пожарной опасности. В настоящее время связь эта устанавливается и реализуется через систему местных (региональных) шкал [2].

Наиболее глубоко идея местных шкал развита Н.П. Курбатским [4, 5]. По предложенной им методике были составлены местные шкалы для некоторых районов Сибири. Попытка модернизации местных шкал была предпринята ЛенНИИЛХом совместно с Гидрометцентром [3]. Позднее М.А. Софронов опубликовал свои предложения по развитию методики составления местных шкал [6]. Но до сих пор лесопожарная охрана не располагает общей методикой составления сопоставимых региональных шкал оценки пожарной опасности в лесу. Используемая в настоящее время методика составления региональных шкал не позволяет делать их сопоставимыми с напряженностью пожарной ситуации в других районах. Так, класс

пожарной опасности (ПО) в разных лесничествах может быть одинаковым, а количество действующих пожаров на единице площади – разным.

Попытки разработать методику составления региональных шкал пожарной опасности предпринимались в последнее время СПбНИИЛХом при финансовой поддержке Рослесхоза. К сожалению, нам неизвестны публикации результатов этой работы, так как удалось ознакомиться только с научным отчетом за 2018 год «Разработка методических рекомендаций по расчету региональных шкал оценки пожарной опасности в лесах…». Не имея собственной оригинальной идеи расчета региональных шкал, авторы отчета сочли возможным использовать идею сотрудников ИЛ СО РАН, но до конца не разобрались в ее сути. Так, они заменили в расчетах важнейший абсолютный критерий – *вероятную плотность ежедневно действующих лесных пожаров на миллион га – на среднее число возникающих пожаров в день без учета площади.* Но в этом случае исключается сопоставимость результатов оценки пожарной опасности (ПО) в разных по площади лесничествах.

Напряженность борьбы с пожарами в районе зависит не только от количества возникающих пожаров на единице площади района, но и от продолжительности их действия. Из-за различий в условиях распространения, развития и тушения пожары в одних районах ликвидируются в начале развития, однако в других действуют продолжительное время и достигают внушительных размеров. Поэтому одно и то же количество возникающих на единице площади пожаров может считаться нормальным явлением для лесов густонаселенного южного района и может быть причиной катастрофической вспышки в малоосвоенных северных лесах. Таким образом, прогнозируемое количество только возникающих пожаров на единице площади недостаточно отражает возможный ущерб от пожаров, то есть не является достаточно полным выражением понятия пожарная опасность и, следовательно, не может служить абсолютным критерием при выделении классов ПО в региональных шкалах [7].

К настоящему времени в Институте леса им. В.Н. Сукачева доработана и опубликована методика составления региональных шкал оценки пожарной опасности в лесу [2]. С этой целью в Красноярском лесопожарном центре была получена информация о пожарах и погодных условиях за 10 лет (с 2005 по 2014 г.) для Чунского лесничества Красноярского края. Для выделения сопоставимых классов пожарной опасности приняли абсолютный критерий – плотность действующих пожаров, в отличие от предложенной ранее М.А. Софроновым [6] плотности возникающих пожаров (пож./млн га), так как количество пожаров в данный день обычно больше количества возникающих. Сравнили количество возникающих пожаров с количеством пожаро-дней за 30 лет и выявили, что оно примерно в два раза больше. Поэтому рекомендованные ранее градации по площади пожаров для КПО были увеличены в 2 раза. Также приняли, что плотность пожаров от класса к классу изменяется примерно в 4 раза, чтобы охватить весь диапазон возможных плотностей пожаров в данном лесничестве (табл. 1) [8].

Таблица 1. Градации классов пожарной опасности по плотности пожаров

Классы пожарной опасности (КПО)	Плотность пожаров на данный день, пож./млн га	
	возникающих	действующих
I	менее 0,10	менее 0,20
II	0,10−0,4	0,20−0,8
III	0,41−1,6	0,81−3,2
IV	1,61−6,4	3,21−12,8
V	более 6,4	более 12,8

За рассматриваемый период в Чунском лесничестве наиболее горимым и по

количеству пожаров, и по их площади был 2012 год. Для организации лесопожарной охраны важно знать распределение пожаров в пределах пожароопасного сезона, который в данном регионе начинается в апреле и заканчивается в сентябре. За десятилетний период наблюдается резкое возрастание количества пожаров и их площадей со второй декады мая с пиком горимости в третьей декаде июня.

Для составления оптимальных региональных шкал на Чунское лесничество было проанализировано среднее ежедневное количество действующих лесных пожаров в связи с классами засухи (КЗ) и их динамикой в течение сезона за десятилетний период. Учитывая динамику действующих пожаров, которая может изменяться в разные годы, региональные шкалы были составлены отдельно по двум периодам сезона (с 20.04 по 30.06 и с 1.07 по 20.09) (табл. 2 и 3). Поскольку за рассматриваемый период в Чунском лесничестве плотность действующих пожаров находилась в пределах четвертого класса пожарной опасности, пятый мы не выделили. Но при периодах с чрезвычайной засухой появление пятого класса пожарной опасности (VКПО) по предлагаемой нами методике возможно.

Таблица 2. Региональные шкалы для Чунского лесничества на период с 20.04 по 30.06 (по данным 2005–2014 гг.)

Класс пожарной опасности	Величина ПВ-1	Плотность пожаров на млн га
I КПО	до 100	до 0,2
II КПО	101−800	0,2−0,8
III КПО	801−5200	0,81−3,2
IV КПО	более 5200	3,21−12,8
V КПО	−	более 12,8

Таблица 3. Региональные шкалы для Чунского лесничества на период с 01.07 по 20.09 (по данным 2005–2014 гг.)

Класс пожарной опасности	Величина ПВ-1	Плотность пожаров на млн га
I КПО	до 400	до 0,2
II КПО	401−1600	0,20−0,8
III КПО	1601−6000	0,81−3,2
IV КПО	более 6000	3,21−12,8
V КПО	−	более 12,8

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А.* Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: усовершенствованная методика составления // Сибирский лесной журнал. 2017. 2. С. 52–61.
2. *Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А.* Совершенствование оценки пожарной опасности в лесу. Методические рекомендации. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2018. 44 с.
3. *Вонский С.М., Жданко В.А.* Методические указания по составлению и применению местных шкал пожарной опасности в лесу. Л.: ЛенНИИЛХ, 1969. 22 с.
4. *Курбатский Н.П.* Методические указания для опытной разработки местных шкал пожарной опасности. Л.: ЦНИИЛХ, 1954. 33 с.
5. *Курбатский Н.П.* Пожарная опасность в лесу и ее измерение по местным шкалам // Лесные пожары и борьба с ними. М.: АН СССР, 1963. С. 5–30.
6. *Софронов М.А*. Методические рекомендации использования типовых районных шкал пожарной опасности для леса. Красноярск: ИЛиД СО РАН, 1985. 16 с.
7. *Софронов М.А., Гольдаммер И.Г., Волокитина А.В., Софронова Т.М.* Пожарная опасность в природных условиях. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2005. 330 с.
8. *Софронова Т.М., Волокитина А.В., Софронов М.А.* Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья. Красноярск: ИЛ СО РАН, КГПУ, 2007. 236 с.

УДК 632.7:634.0.263 (575) (04)

ПОЙМЕННЫЕ ЛЕСА КОЧКОРСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА И НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ СТАБИЛЬНОСТЬ

Н.В. ГАБРИД[1], А.С. КУЛИЕВ[2], С.М. МОСОЛОВА[1]

[1] Институт биологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан (ngabrid@mail.ru, fungimos@mail.ru)
[2] НПЦ ИЛ им. П.А. Гана Института биологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан(arstan-66@mail.ru)

Исследованы и приведены некоторые факторы, влияющие на устойчивость пойменно-прирусловых лесов Кочкорского лесничества.

FIELD FORESTS OF THE KOCHKOR FORESTRY AND CERTAIN FACTORS AFFECTING THEIR STABILITY

N.V. GABRID[1], A.S. KULIEV[2], S.M. MOSOLOVA[1]

[1] Biology institute of the National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic (ngabrid@mail.ru, fungimos@mail.ru)
[2] Scientific and production center for the study of forests after P.A. Gan of the Biology institute of the National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic (arstan-66@mail.ru)

Some factors affecting the sustainability of the floodplain-riverbed forests of the Kochkor forestry are investigated and presented.

Кочкорское лесничество входит в состав Кочкорского лесхоза, расположенного в Кочкорском административном районе, в границах Нарынской области, на севере Кыргызстана (райцентр – с. Кочкор в 120 км севернее областного центра, г. Нарын).

Пойменные, или пойменно-прирусловые, леса лесничества произрастают узкой полосой по берегам горных рек, выполняя водорегулирующие, руслозащитные, берегоукрепляющие функции. Образуют их в основном различные виды ивы (сем. Salicaceae), в том числе пепельная (*Salix cinerea* L.), тонкосережчатая (*S. tenuijulis* Ledeb.), Пржевальского (*S. prszewalskii* Wolf.). Все виды имеют форму высоких многоствольных кустов. Кроме ивы, растут облепиха крушиновидная – *Hippophae rhamnoides* L. (сем. Elaeagnaceae), тамарикс щетинистоволосый – *Tamarix hispida* Willd., мирикария чешуйчатая – *Myricaria squamosa* Desv., спирея зверобоелистная (*Spiraea hypericifolia* L.), шиповник (*Rosa sp.*), лох (*Elaeagnus sp.*), жимолость (*Lonicera* sp.), в сухой части русла – селитрянка *Nitraria sp*. (сем. Zygophyllaceae). Встречаются деревья тополя таласского (*Populus talasica* Com.) и пирамидального (*P. pyramidalis* L.). В искусственных посадках произрастают интродуценты – сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.), береза повислая (*Betula pendula* L.), вяз мелколистный (*Ulmus pumila* L.).

В связи с сообщениями из Кочкорского лесхоза об усыхании ивы на большой площади в поймах рек Чу и Джоон-Арык и с учетом огромной ценности пойменно-прирусловых лесов, с 1995 года ведется мониторинг за фитосанитарным состоянием лесов Кочкорского лесхоза. Сбор данных проводился в Кочкорском лесничестве методом маршрутных ходов, закладки пробных площадок и детального осмотра растущих на них деревьев и кустарников. Получена подробная информация о состоянии растений, выявлен видовой состав вредителей, грибных болезней, определена их вредоносность, степень влияния на состояние насаждений.

В последнее время многие исследователи среди причин, определяющих состояние экосистемы, особо выделяют антропогенные факторы, а среди последних – неумеренный выпас скота [1, 2, 3]. Мы тоже считаем этот фактор если не основным, то одним из первостепенных в снижении стабильности части территории пойменных лесов Кочкорского лесничества. Нормальную жизнедеятельность древесных и кустарниковых растений нарушают также вредители – насекомые и растительноядные клещи, а кроме того,

патогенные организмы, в частности, микро- и макромицеты.

По результатам обследования 1995–2008 гг. установлено: пойменные леса Кочкорского лесничества функционируют в условиях интенсивного антропогенного воздействия и далеки от состояния относительного равновесия. В лесонасаждениях непрерывно бесконтрольно выпасаются многочисленные стада крупного рогатого скота, лошадей, овец, коз. От перевыпаса почва в насаждениях сильно уплотнена, травянистая растительность съедена и вытоптана, ветви обкусаны и обглоданы, естественное возобновление отсутствует, преобладают деревья с ослабленными физиологическими функциями и сниженным иммунитетом к вредителям и болезням, много деревьев усохших или в крайнем усыхающем состоянии. Насаждения захламлены мелкими порубочными остатками от самовольных рубок.

Особая экологическая среда пойменно-прирусловых лесов рассматриваемого региона – основной фактор, определивший состав и структуру обитающих здесь вредителей, которые являются обязательной и значимой их частью. Ведущую роль в составе и структуре вредной энтомо- и акарифауны региона играют параметры (характеристика) насаждений, особенно породный состав деревьев и кустарников. Наиболее богатым по составу оказался комплекс вредителей на преобладающей породе – иве. Он состоит из типичных видов насекомых и растительноядных клешей, повреждающих растения семейства Salicaceae в других регионах Кыргызстана.

Всего в Кочкорском лесничестве зарегистрировано более 30 видов насекомых и несколько видов обитающих на растениях клещей. Не все они вредоносны. Наиболее агрессивны виды с сосущим ротовым аппаратом (тли, кокциды, клещи); чешуекрылые, жесткокрылые, пилильщики и др. единичны. Из клещей наиболее многочислен ***Schizotetranychus schizopus***. Названия часто встречающихся видов представлены ниже.

Насекомые

Homoptera (Равнокрылые)

Cicadinea (цикады) – *Aphrophora salicina* Goeze;

Aphidinea (тли) – *Pterocomma salicis* (L), *Aphis farinosa* Gmelin, *Chaitophorus truncatus* Hausm., *Chaitophorus salicti* (Schrnk.);

Coccinea (кокциды) – *Chionaspis polypora* Borchs., Ch. montana Borchs., *Diaspidiotus turanicus* Borchs., *Lepidosaphes mesasiatica* Borchs., *Gossyparia salicicola* Borchs.;

Lepidoptera (чешуекрылые) – *Yponomeuta rorella* (L),

Coleoptera (жесткокрылые): *Chrysomela saliceti* (Wse.), *Chrysomela populi* (L), *Saperda populnea* L.

Hymenoptera (перепончатокрылые): *Pontania proxima* Lep.

Растениеобитающие клещи:

Паутинные

Schizotetranychus schizopus Zacher – паутинный ивовый клещ;

***Schizotetranychus populi* Koch.** – паутинный тополевый клещ.

Четырехногие

***Phyllocoptes populi* Nalepa** – листовой осиновый клещ;

***Aceria salicina* (Nalepa)** – ивовый бородавчатый клещ.

В 1995–2008 гг. в Кочкорском лесничестве в пойме реки Чу наблюдалась затяжная вспышка массового размножения сосущих насекомых – *Aphrophora salicina*, *Gossyparia salicicola*, *Lepidosaphes mesasiatica*, была отмечена высокая численность *Pterocomma salicis*. В сочетании с неразумной хозяйственной деятельностью это, судя по всему, вызвало усыхание ивы на площади около 50 га (площадь указана со слов сотрудников лесхоза).

В связи с разрастанием очага массового размножения указанных выше насекомых и усыханием ивовых деревьев в 2008 г. были предложены рекомендации с целью улучшения состояния лесонасаждений в пойме реки Чу (запрет выпаса скота, проведение лесохозяйственных мероприятий). Последующие обследования показали, что состояние пойменных лесов значительно улучшилось.

Из болезней, найденных в пойменных лесах, особо следует выделить повреждения, вызываемые грибом-макромицетом *Cryptomices maximus* (Fr.) Rehm. Вид найден первым автором настоящего сообщения в Кочкорском лесничестве в 2018 г. на иве (*Salix sp*.), на отметке 1808 м н. у. м. в пойме реки Джоон-Арык, рядом с которой проходит автодорога Бишкек – Нарын – Торугарт (Кыргызстан – Китай). Прежде в республике данный вид не отмечался.

Болезнь проявляется в образовании некрозов на стволах молодых ив, скелетных ветвях и побегах текущего года. На толстых ветвях это локальные повреждения в виде вытянутых, округлых или овальных участков, на тонких веточках и побегах – некрозы круговые, охватывающие их по окружности. Внешне болезнь представляет собой черные слегка вздутые подсохшие корочки, окруженные желтой или оранжево-желтой желеобразной субстанцией. 1–3-летние побеги засыхают полностью. Ветки старше и толще остаются живыми со стороны, где нет признаков развития болезни, однако бывает, что пораженных участков на таких ветках несколько и располагаются они со всех сторон. В таких случаях скелетная ветвь полностью усыхает. Имеются усохшие молодые деревца, поврежденные *Cryptomices maximus*.

Систематическое положение вида: Группа Fungi > отдел Askomycota > класс Leotiomycetes > порядок Rhytismatales > семейство Rhytismataceae > род *Cryptomices* > вид *maximus* [4]. Идентифицирован вид третьим автором настоящего сообщения.

Автор вида – Г. Рем (H. Rhem). Он описал его подробно для северных стран Европы по сборам из Германии, Австрии и Швеции в период 1887–1896 гг. Однако первым, кто иллюстрировал и описал внешний вид гриба в 1801 г., был Джеймс Сауэрби [5].

Распространение: Канада, север США, северные страны Западной Европы. Франция, Португалия, Украина. В России известен в Архангельской, Ленинградской, Курской, Вологодской областях. Живет на видах *Salix* во влажных местах – вблизи рек, ручьев, болот и др. [6].

Таким образом, мы считаем, что описанные факторы – неумеренный выпас скота, массовое размножение вредителей и распространение грибных болезней – большая нагрузка для лесонасаждений такого типа. Они могли стать причиной снижения устойчивости и функций, выполняемых пойменными лесами Кочкорского лесничества.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шамшиев Б.Н.* Влияние выпаса скота и режима заповедования на лесные культуры арчи в Кыргызстане // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал № 2–3, Архангельск. 1995. С. 191–195.
2. *Жунусов Н.С.* Влияние выпаса скота на травяной покров орехоплодовых лесов // Известия вузов. 2016. № 12. С. 236–238.
3. *Юнусбаев У.Б., Мусина Л.Б., Суюндуков Я.Т.* Динамика степной растительности под влиянием выпаса разных сельскохозяйственных животных // Экология. 2003. № 1. С. 46–50.
4. *Журавлев И.И., Селиванова Т.Н., Черемисинов Н.В.* Определитель грибных болезней деревьев и кустарников. М.: Лесная промышленность, 1979. 247 с.
5. *Granmo A., Rämä T., Mathiassen G.* The secrets of *Cryptomyces maximus* (Rhytismataceae). Ecology and distribution in the Nordic countries (Norden), and a morphological and ontogenetic update. Karstenia 52. Helsinki. ISSN 0453-3402. P. 59–72/
6. [Электронный ресурс.] URL: http://smf.ekoo.se/iucn/species_view/191302.

УДК 630.181+58.009

СВЯЗИ МЕЖДУ СВЯЗЯМИ: ДОЛЖЕН ЛИ ЛЕС СЛЕДОВАТЬ НАШИМ МОДЕЛЯМ?

В.Л. ГАВРИКОВ

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (gavrikov-58@mail.ru)

Рассмотрена модель, которая показывает, как связаны показатели степени в соотношениях, описывающих самоизреживание и аллометрические зависимости. Эти связи были продемонстрированы посредством того, что модель может предсказывать один из показателей, если известен другой. Показано, что точность предсказаний достаточно высока.

RELATIONSHIPS BETWEEN RELATIONSHIPS: WHETHER THE FOREST SHOULD OBEY OUR MODELS

V.L. GAVRIKOV

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (gavrikov-58@mail.ru)

The model formulated shows how relationships including self-thinning exponents and allometric exponents may be linked to each other. The linking has been demonstrated by the ability of model formulas to predict an exponent if two other exponents are known. The predictions were rather accurate for Scots pine data.

За более чем полуторастолетнюю историю лесная таксация накопила огромный опыт и массив данных о строении и росте древостоев. В частности, был сформулирован подход к морфометрическим параметрам, которыми пользуются все лесоведы мира (высота, диаметр на высоте груди, показатели формы ствола, густота древостоя и пр.). Наряду с этим были установлены закономерности, управляющие взаимосвязями между этими параметрами, т. е., например, как связаны диаметр и высота ствола, густота древостоев и средний диаметр деревьев в них и т. п. На определенном этапе возник закономерный вопрос: существуют ли связи следующего порядка, в некотором роде «связи между связями»?

Вероятно, первые работы такого сорта появились из анализа законов самоизреживания и принадлежат Веллеру [7, 8]. Веллер анализировал, как показатель степени в законе самоизреживания связан с показателем степени в аллометрических зависимостях. Впоследствии Иноуе [5, 6] также привлек внимание к тому, что зависимости типа «размер – размер» и «размер – густота» могут быть связаны друг с другом через свои параметры. Гавриков [2, 3, 4] исследовал простую геометрическую модель древостоя и показал, что «связи между связями» могут быть обнаружены для зависимостей R(N) и H(R), где N – густота древостоя, R – средний радиус стволов, H – средняя высота. Было установлено, что при наличии информации о том, как меняется суммарная боковая поверхность стволов, показатели степени в этих зависимостях могут быть легко связаны и, следовательно, предсказаны.

Пусть в соответствии с геометрической моделью [2] имеют место следующие соотношения:

$$V = \frac{1}{3}\pi \cdot R^2 \cdot H \cdot N \qquad (1)$$

$$R \propto \sqrt{\frac{1}{N^{\gamma}}} \propto N^{-\frac{\gamma}{2}} \quad , \qquad (2)$$

где V означает суммарный объем стволов в древостое (используется коническая аппроксимация), N – густоту, R – радиус оснований стволов, H – высоту стволов.

В теориях самоизреживания рассматривается связь общего объема стволов с густотой в виде степенной зависимости. Пусть далее суммарный объем V может быть связан с густотой N как

$$V \propto N^{\alpha}, \qquad (3)$$

где α – показатель степени в связи. Соотношения (1) и (3) при комбинировании дают связь между H и R:

$$H \propto R^{\frac{2}{\gamma}(1-\alpha)-2}, \qquad (4)$$

где показатель степени можно для краткости обозначить как

$$\beta = \frac{2}{\gamma}(1-\alpha) - 2 \quad . \qquad (5)$$

Легко увидеть, что показатели степени в (2), (3) и (4) функционально связаны между собой. Например, если γ и α известны, то β можно непосредственно вычислить или, иными словами, предсказать. Целью работы было проверить, могут ли эти теоретические выкладки работать с реальными эмпирическими данными. Если эмпирически оценить два из трех показателей степени в (2), (3) и (4), то насколько успешно приведенные формулы могут предсказать величину третьего показателя?

В исследовании использовались данные по древостоям сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), собранные В.А. Усольцевым [1]. Один набор данных включал базовые параметры, описывающие древостои: средний диаметр на высоте груди, среднюю высоту, густоту и запас. Для целей исследования вычисленный согласно (1) суммарный объем обозначался как V_c, чтобы отличать его от табличных значений, приводимых в публикациях. Радиус стволов R вычислялся как половина диаметра на высоте груди. Всего для обработки было взято 43 набора данных.

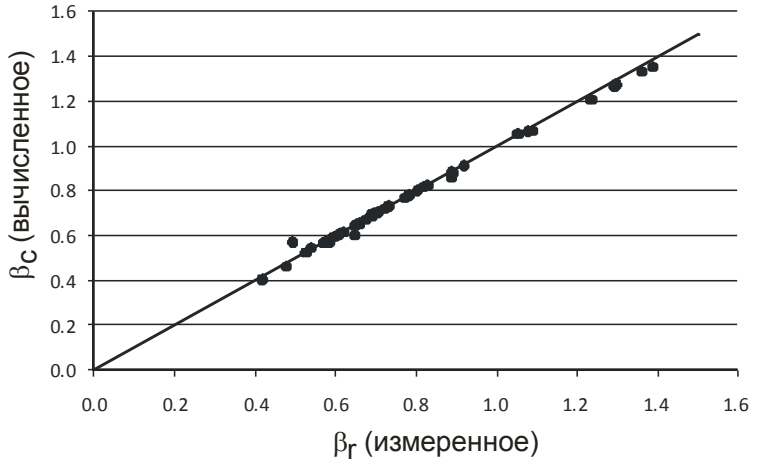


Рис. 1. Значения β_r и β_c для наборов данных сосны обыкновенной. Прямая линия соответствует β_r = β_c

Значения всех параметров (N, R, H и V_c) были сначала прологарифмированы. Затем значения показателей степени в связях между параметрами были найдены как наклоны δ соответствующих линейных функций

$$\log Y = k + \delta \cdot \log X,$$

где Y и X – зависимая и независимая переменные, соответственно, а k – логарифм коэффициента функции. Оценка параметров проводилась с помощью статистического пакета Statistica 6.

Значения показателя степени в связи H(R) (4) обозначены здесь как β_r, они были получены посредством регрессионной процедуры. В то же самое время значение β_c может быть вычислено и получается, согласно модели, из выражения (5) при известных α и γ. Графически соотношение β_r и β_c показано на рис. 1. Отклонение вычисленных (β_c) и измеренных (β_r) параметров можно оценить простой формулой (β_c – β_r)/β_c. Это отклонение было менее 1 % в 30 из 43 наборов данных (~70 % случаев).

Важно заметить, что использованные данные из монографии В.А. Усольцева [1] представляют собой в известной мере произвольные наборы описаний древостоев. Действительно, автор данных, процитированных в монографии, мог выбрать какой-то древостой для исследований или не выбрать, мог опубликовать эти данные или нет. И, тем не менее, формулы простой геометрической модели, по-видимому, являются вполне рабочими для информации такого рода. Для нескольких наборов данных статистические оценки параметров были слабо или совсем незначимыми. Однако даже в таких случаях расхождение между оцененными и вычисленными значениями (β_r и β_c), как правило, не превышало 3 %, что неплохо для исследований в области лесной экологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Усольцев В.А.* Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 573 с.
2. *Gavrikov V.L.* A simple theory to link bole surface area, stem density and average tree dimensions in a forest stand // Eur. J. Forest Res. 2014. 133: 1087–1094.
3. *Gavrikov V.L.* Stem surface area in modeling of forest stands. Cham: Springer, 2017. P. 100.
4. *Gavrikov V.L.* 'Relationships between relationships' in forest stands: intercepts and exponents analyses // J. For Res. 2018. 29: 575–582.
5. *Inoue A.* Relationships of stem surface area to other stem dimensions for Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) trees // J. Forest Res. 2004. 9 (1): 45–50.
6. *Inoue A.* Allometric model of the maximum size-density relationship between stem surface area and stand density // J. Forest Res. 2009. 14 (5): 268–275.
7. *Weller D.E.* Self- thinning exponent correlated with allometric measures of plant geometry// Ecology. 1987. 68 (4): 813–821.
8. *Weller D.E.* The interspecific size-density relationship among crowded plant stands and its implications for the -3/2 power rule of self-thinning // Am. Nat. 1989. 133(1): 20–41.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта «Прогноз регионально-специфичных откликов бореальных лесов горных районов Сибири на глобальные изменения природной среды и траекторий эволюции ландшафтов для снижения экологических рисков, и эффективного долгосрочного планирования деятельности различных отраслей экономики». Грант РФФИ № 19-05-00091 «Позднеголоценовая динамика бореальных лесов Азии на фоне меняющихся геохимических и климатических условий».

УДК 528.88

СПУТНИКОВАЯ ГРАВИМЕТРИЯ В АНАЛИЗЕ СВЯЗИ УСЫХАНИЯ ТЕМНОХВОЙНЫХ С АНОМАЛИЯМИ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

А.С. ГОЛЮКОВ[1, 2], С.Т. ИМ[1, 2], В.И. ХАРУК[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (jedirevan@ya.ru, stim@ksc.krasn.ru, v7sib@mail.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

На основе гравиметрических (система GRACE) измерений исследована связь усыхания темнохвойных древостоев Сибири с аномалиями влагосодержания почвы

SATELLITE GRAVIMETRY IN ESTIMATE OF THE RELATIONSHIP THE DECLINE OF DARK NEEDLE CONIFEROUS FOREST WITH ANOMALIES SOIL MOISTURE CONTENT

A.S. GOLYUKOV[1, 2], S.T. IM[1, 2], V.I. KHARUK[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc, Krasnoyarsk, Russia (jedirevan@ya.ru, stim@ksc.krasn.ru, v7sib@mail.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

On the base of gravimetric (system GRACE) measurements the relationship of water mass and losses of dark coniferous forest stands of Siberia has been studied.

В последние десятилетия в бореальных лесах отмечается значительный рост площади усохших древостоев из-за возрастания температуры воздуха и аридности климата в синергизме с воздействием насекомых-вредителей [1, 3, 4]. В этой связи значима разработка методов определения условий увлажнения лесных территорий.

Цель исследования. Разработка метода гравиметрического определения влажности почв, анализ связи изменений водной массы и усыхания древостоев, сформированных кедром (*Pinus sibirica* du Tour), пихтой (*Abies sibirica* Ledeb.) и елью (*Picea obovata* Ledeb.). Исследуемая территория Сибири ограничена координатами 50°… 80° с. ш. и 60°…120° в. д.

Гравиметрические измерения спутниковой системы GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) позволяют оценивать динамику водной массы. В данной работе анализировались среднемесячные аномалии водного эквивалента массы (АВЭМ, см) относительно базового периода (2004–2009 гг.). Точность измерений АВЭМ составляет 10–30 мм, пространственное разрешение 1° [5]. Данные о лесных территориях извлечены из продукта Global Forest Change (период 2000–2018 гг., разрешение 30 м) [2]. Преобладающие породы определялись по карте VEGA2006 (пространственное разрешение 230 м; http://pro-vega.ru). Контуры гарей получены из продукта MODIS MCD64A1 (разрешение 500 м).

Анализ состоял из следующих этапов: (1) из данных по динамике лесного покрова вырезались территории гарей; (2) данные разделялись на 3 слоя, каждый из которых соответствовал определенной древесной породе; (3) рассчитывался растровый слой суммы минимальных летних (июнь – август) значений АВЭМ; (4) вычислялся растровый слой, равный произведению слоя минимумов АВЭМ и площади погибших древостоев; (5) подсчитывались ежегодные и суммарные площади изменения древостоев. Обработка производилась в программах ESRI ArcGIS и в Microsoft Excel.

Анализ показал, что смертность кедровых, пихтовых и еловых древостоев возрастает с уменьшением АВЭМ (рис. 1а). Наблюдаются значимые различия между медианами площадей усохших и живых древостоев относительно величины АВЭМ (рис. 1б, в, г); влагосодержание в почвах живых древостоев значимо превышает таковое

в усохших (табл. 1).

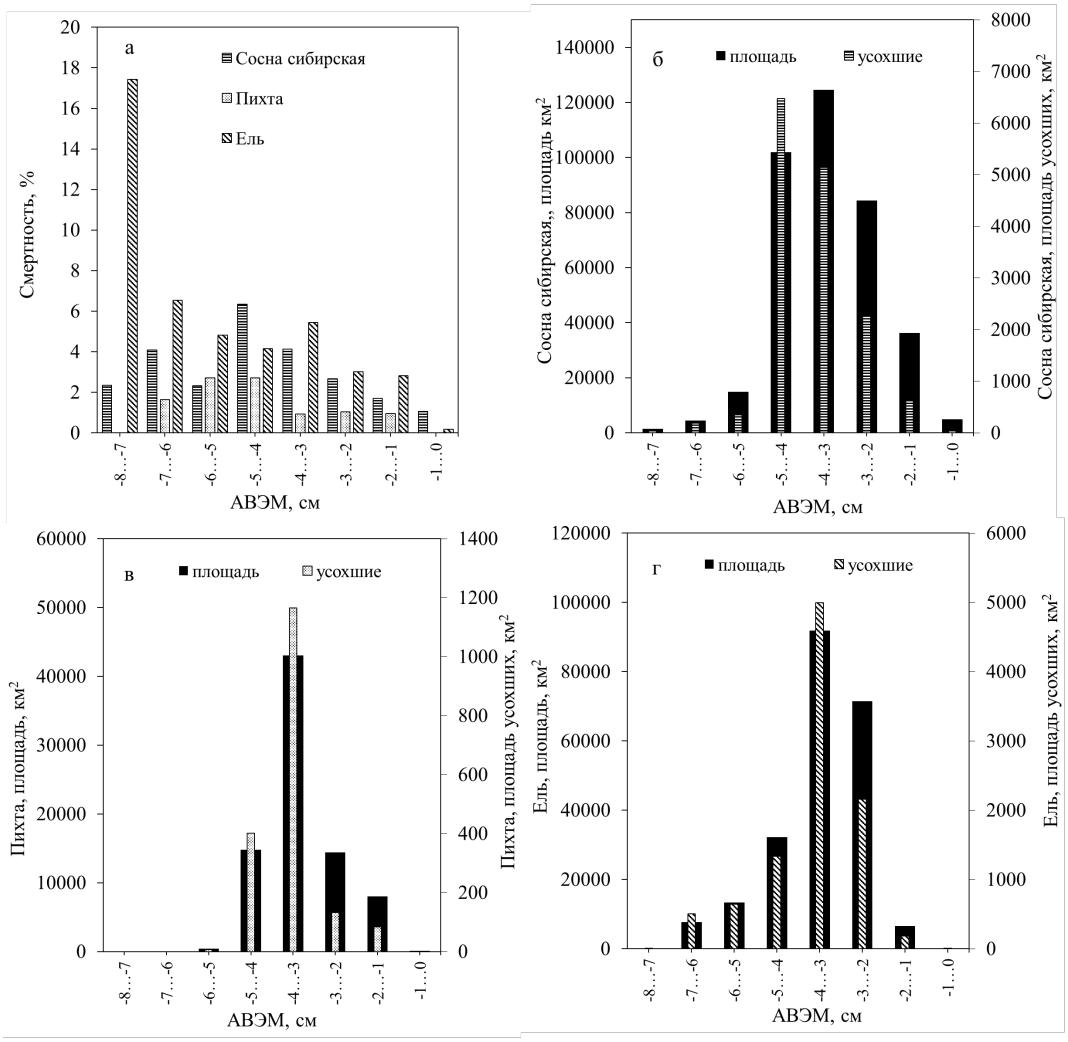


Рис. 1. Смертность темнохвойных (а), площади усохших и общая площадь древостоя (б, в, г)

Таблица 1. Медианы и квантили (5 % и 95 %) распределений площади усохших древостоев относительно АВЭМ (формат записей: квантиль 5 % / медиана / квантиль 95 %).

#	Переменная	Пихтовые древостои		Кедровые древостои		Еловые древостои	
		Усохшие	Живые	Усохшие	Живые	Усохшие	Живые
1	$GRACE_{3minYear}$, cm	-2,1 / -3,6/ -4,5	-1,5 / -3,4/ -4,6	-2,2/ -3,9/ -4,7	-1,6/ -3,6/ -5,2	-2,2 / -3,5/ -6	-2,0 / -3,3/ -5,8

Полученные данные указывают на применимость гравиметрической съемки в исследовании режима увлажнения лесных территорий, а также на возможность обнаружения актуальных и потенциальных зон усыхания древостоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тучина О.П., Юрьев А.Н., Подгорних П.В.* Краткий обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Архангельской области за 2014 год и прогноз лесопатологической ситуации на 2015 год. 2015. С. 4–28.
2. *Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., and Townshend J.R.G.* High-Resolution Global Maps of 21st-century Forest Cover Change // Science. 2013. 342 (15 November). Pp. 850–853.

3. *Kharuk V.I., Im S.T., Dvinskaya M.L., Golukov A.S., Ranson K.J.* Climate-induced mortality of spruce stands in Belarus // Environmental Research Letters. 2015. Vol. 10. Pp. Is. 12.
4. *Kharuk V.I., Im S.T., Petrov I.A., Golyukov A.S., Ranson K.J., Yagunov M.N.* Climate-induced mortality of Siberian pine and fir in the Lake Baikal Watershed, Siberia // Forest Ecology and Management. 2017. Vol. 384. Pp. 191–199.
5. *Landerer F.W., Swenson S.C.* Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates // Water Resources Research. 2012. Vol. 48. Is. 4.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-05-00432).

УДК 631.436:551.34:551.508:53.087.45

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСОЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМ В ЗАПАДНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Б-М.Н. ГОНЧИКОВ[1], А.В. БАЗАРОВ[2], А.Ц. МАНГАТАЕВ[1], Ж.Б-М. ГОНЧИКОВ[3], Р.С. СЫЧЕВ[2]

[1] Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия (batomunk74@mail.ru)
[2] Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ, Россия (alebazaro@gmail.com)
[3] Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, Россия

Атмосферно-почвенный измерительный комплекс (АПИК) позволяет проводить непрерывные долговременные автоматические измерения основных метеорологических параметров атмосферы и почвы с глубины 3,2 м до высоты 10 м. Исследованы температурные режимы контрастных ландшафтов в разных типах распространения многолетней мерзлоты Республики Бурятия.

USE OF AUTOMATIC MONITORING SYSTEM FOR FOREST AND MEADOW ECOSYSTEMS IN THE WESTERN BARREL

B-M.N. GONCHIKOV[1], A.V. BAZAROV[2], A.Ts. MANGATAEV[1], ZH.B-M. GONCHIKOV[3], R.S. SYCHEV[2]

[1] Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia (batomunk74@mail.ru)
[2] Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia (alebazaro@gmail.com)
[3] Buryatsky State Agricultural Academy after V.R. Filippov, Ulan-Ude, Russia

The soil and atmospheric measuring equipment (SAME) automatically measures the meteorological parameters of the atmosphere and soil from a depth of 3,2 m to a height of 10 m. The temperature regimes of contrasting landscapes in different types of permafrost distribution in the Republic of Buryatia have been studied.

Представлено описание инновационного атмосферно-почвенного измерительного комплекса (АПИК) и проведены мониторинговые исследования лесолуговых ландшафтов, где на ключевых участках установлены АПИК и почвенные регистраторы [3] в зависимости от типов распространения многолетней мерзлоты (рис. 1.): сплошной – в центральной части Витимского плоскогорья, полигоне «Багдарин» на мерзлотных дерново-криометаморфических глееватых почвах; прерывистой – на юге Витимского плоскогорья, полигоне «Еравна» на мерзлотных черноземах глинисто-иллювиальных квазиглеевых; островной – на севере Селенгинского Среднегорья, полигоне «Кижинга» на черноземах квазиглеевых и в прибрежной полосе Восточного Прибайкалья, полигоне «Горячинск» на подбурах оподзоленных.

Особенностью комплекса является долговременное автоматическое измерение вертикального профиля температуры и влажности в системе «почва – атмосфера» с глубины 3,2 м до высоты 10 м. Одновременно измеряются климатические параметры: скорость и направление ветра, уровень солнечной радиации, количество жидких осадков и уровень снега, а также проводимости почвенной воды. Данные считываются дистанционно через GSM-модем по сотовому каналу связи в online-режиме. Автономная работа системы обеспечивается использованием солнечной батареи и аккумулятора [2].

Климат Западного Забайкалья отличается резкой континентальностью. Она проявляется в значительных амплитудах колебания температуры воздуха, а также небольшом количестве осадков при крайнем неравномерном распределении в течение года (рис. 2). Северная часть района исследований отличается суровым климатом

зимнего периода.

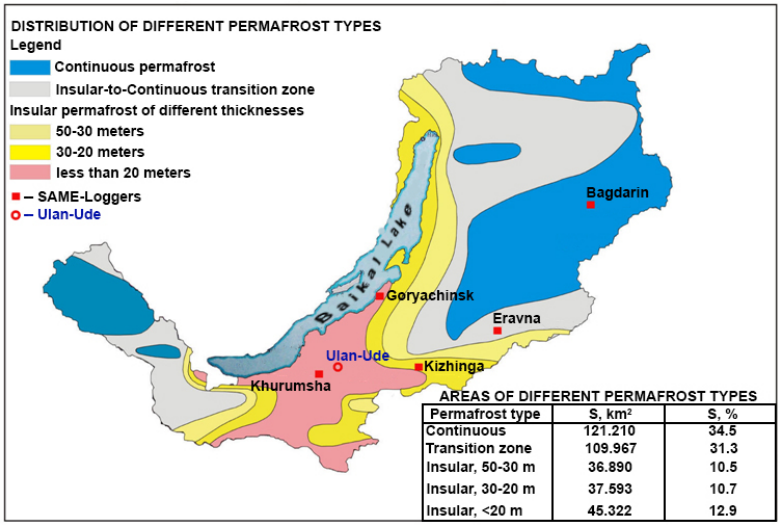
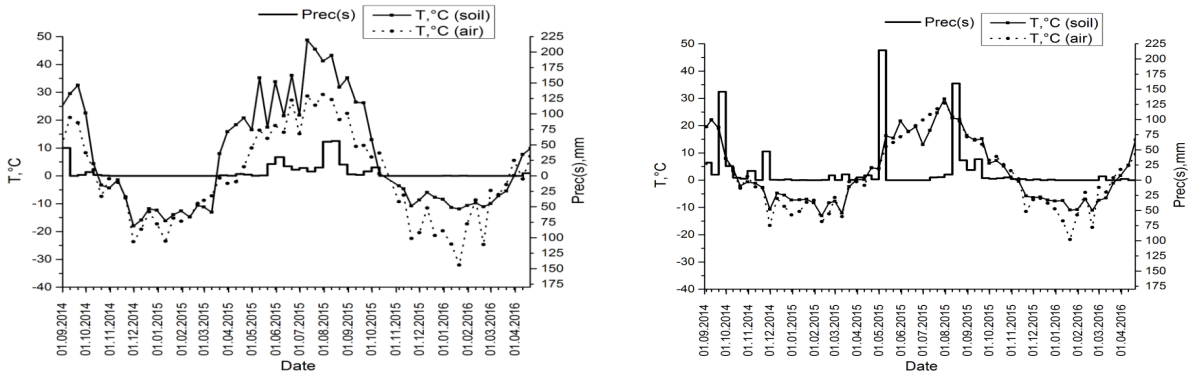


Рис 1. Карта распространения разных типов многолетней мерзлоты [1] и схема расположения полигонов АПИК



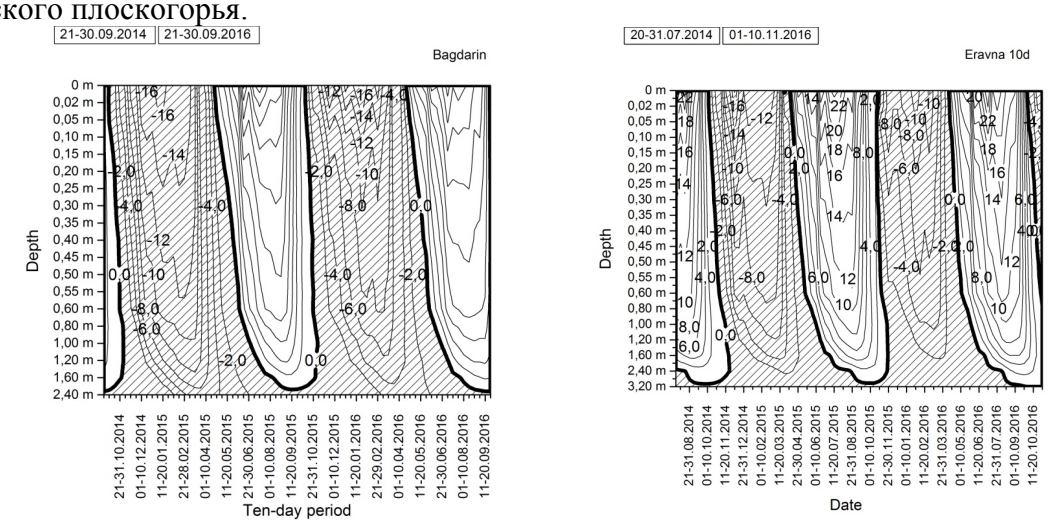
а б

Рис. 2. Динамика среднемесячной температуры воздуха, температуры поверхности почвы и осадков, а – полигон «Еравна», б – полигон «Горячинск»

Анализ полученных данных на полигонах показывает пространственно-временную изменчивость температуры почв от поверхности до глубины 3,2 м. Температурный режим мерзлотных дерново-криометаморфических глееватых и мерзлотных черноземов глинисто-иллювиальных квазиглеевых относится к мерзлотному типу, а черноземы квазиглеевые и подбуры оподзоленные – к длительно сезоннопромерзающему типу. Поэтому процесс устойчивого промерзания мерзлотных дерново-криометаморфических глееватых почв начинается раньше, чем мерзлотных черноземов глинисто-иллювиальных квазиглеевых, и заканчивается слиянием в конце октября и в начале ноября со сплошной мерзлотой на глубине 2,0 м в Багдарине и 2,6 м в Еравне (рис. 3).

Процесс устойчивого протаивания мерзлотных почв начинается с начала апреля – середины мая. Активная температура в гумусовом горизонте проникает в середине мая в Багдарине, а в Еравне в конце апреля и держится до начала сентября. Максимальная глубина активных температур в данных черноземах квазиглеевых и подбурах оподзоленных может доходить до 1,6 м и 2,6 м в августе – сентябре. Начало промерзания обычно совпадает с первыми заморозками в октябре. Так заканчивается полный цикл промерзания и протаивания мерзлотных дерново-криометаморфических глееватых почв и мерзлотных черноземов глинисто-иллювиальных квазиглеевых

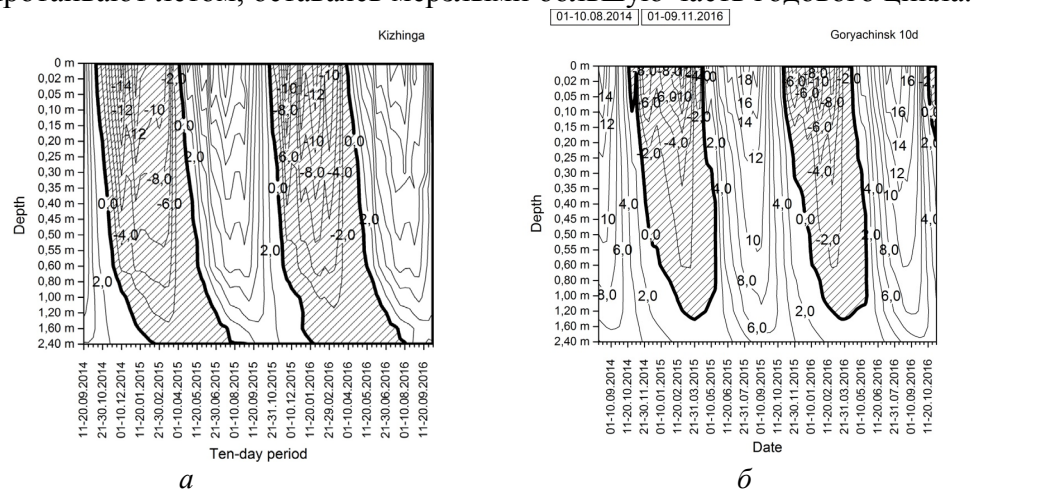
Витимского плоскогорья.



а *б*

Рис. 3. Температурный и мерзлотный режим почв: а – мерзлотных дерново-криометаморфических глееватых и б – мерзлотных черноземов глинисто-иллювиальных квазиглеевых (стационар «Еравнинский»), ▨ – мерзлый слой, ▭ – сезонно-талый слой

Данные сбора и анализа температуры чернозема квазиглеевого и подбуров оподзоленных Восточного Прибайкалья показывают совершенно другой облик температурного режима, чем мерзлотные типы почв. Эти почвы сезонно промерзают только зимой, устойчивая температура устанавливается в конце октября в Кижинге, в Горячинске – в середине ноября, и они доходят до глубины более 2,4 м и 1,6 м соответственно (рис. 4). Эти почвы за период наблюдений с 2014 года по сентябрь 2016 года в мерзлом состоянии были только 5,5–6 месяцев, оставаясь в подошве породы большую часть года в талом состоянии. В то же время в мерзлотных типах почв картина принципиально другая. Здесь мерзлотные почвы сезонно, 4,5–5 месяцев, только протаивают летом, оставаясь мерзлыми большую часть годового цикла.



а *б*

Рис. 4. Температурный и мерзлотный режим почв: а – чернозем квазиглеевый (полигон «Кижинга») и б – подбур оподзоленный (стационар «Горячинск»), ▨ – мерзлый слой, ▭ – сезонно-талый слой

Поэтому использование АПИК является инновационной разработкой для оперативной (в online-режиме), достоверной и экономной оценки, динамики и мониторинга характеристик атмосферного и почвенного климата Западного Забайкалья.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бадмаев Н.Б., Куликов А.И., Миронов И.А.* Мерзлота // Бурятия. Энциклопедический справочник в 2 томах. Улан-Удэ, 2011. Т. 1. С. 54–55.
2. *Базаров А.В., Бадмаев Н.Б., Кураков С.А., Гончиков Б-М. Н., Цыбенов Ю.Б., Куликов А.И.* Измерительный комплекс для автоматического долговременного контроля атмосферных и почвенных климатических параметров // Приборы и техника эксперимента. 2016. № 2. С. 186–201.
3. *Базаров А.В., Бадмаев Н.Б., Кураков С.А., Гончиков Б-М.Н.* Мобильный измерительный комплекс для сопряженного контроля атмосферных и почвенных параметров // Метеорология и гидрология. 2018. № 4. С. 104–109.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках проекта АААА-А17-117011810038-7 и при поддержке грантов РФФИ № 17-29-05093 офи_м, № 18-45-030033 р_а.

УДК 630*182.2: 630*907.32

ЛЕСООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС С УЧАСТИЕМ ТЕМНОХВОЙНЫХ ПОРОД НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

Ю.П. ГОРИЧЕВ[1], А.Н. ДАВЫДЫЧЕВ[2], И.Р. ЮСУПОВ[1], А.Ю. КУЛАГИН[2]

[1] Южно-Уральский государственный природный заповедник, Республика Башкортостан, Россия (revet_zapoved@mail.ru)

[2] Уфимский институт биологии РАН, Уфа, Россия (shur25@yandex.ru)

В статье представлены результаты исследований, проведенных на территории Южно-Уральского государственного природного заповедника. Приведены показатели ценотической активности ели сибирской и пихты сибирской. Очерчены экотопические ареалы темнохвойных пород.

FORESTRY PROCESS WITH PARTICIPATION OF DARKWAY TYPES OF TREES IN THE WESTERN PART OF THE SOUTHERN URALS

Yu.P. GORICHEV[1], A.N. DAVYDYCHEV[2], I.R. YUSUPOV[1], A.Yu. KULAGIN[2]

[1] South Ural State Nature Reserve, Republic of Bashkortostan, Russia (revet_zapoved@mail.ru)
[2] Ufa Institute of Biology, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia (shur25@yandex.ru)

The article presents the results of research conducted on the territory of the South Ural State Nature Reserve. The indicators of coenotic activity of Siberian spruce and Siberian fir are given. The ecotopic area of dark coniferous tree species are outlined.

Географические ареалы темнохвойных пород ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) охватывают низкогорья западного макросклона Южного Урала к северу от 54 параллели [4, 8]. В данном регионе (район широколиственно-темнохвойных лесов) в лесообразовательном процессе принимают участие практически все древесные виды, произрастающие на Южном Урале. Коренную растительность района образуют формации темнохвойных, широколиственных и смешанных широколиственно-темнохвойных лесов. Темнохвойные породы являются важной составляющей частью, неотъемлемым элементом двух формаций – темнохвойных и широколиственно-темнохвойных лесов.

Лесные экосистемы района до последнего времени изучены слабо, стационарные исследования проведены лишь на отдельных локальных участках [1, 7]. Наши исследования велись в западной части Южно-Уральского государственного природного заповедника, относящейся к району широколиственно-темнохвойных лесов. Район охвачен маршрутными исследованиями, также проведены стационарные исследования на пробных площадях [2, 3, 5, 6].

Как показало обследование территории, в районе представлен широкий спектр лесорастительных условий. Темнохвойные породы участвуют в лесообразовательном процессе в большинстве типов ЛРУ, занимая разные ценотические позиции в фитоценозах – от абсолютных эдификаторов в бореальных насаждениях до единичного присутствия в неморальных насаждениях.

В районе прослеживается высотная дифференциация бореальных темнохвойных лесов. Они образуют 2 высотных топографических комплекса: нижний (долинные леса) и верхний (нагорные леса). Долинные темнохвойные леса занимают днища и нижние части теневых склонов. Нагорные темнохвойные леса распространены по гребням и вершинам высоких хребтов на высоте более 700 м н. у. м. Бореальные комплексы разделены полосами субнеморальных лесов.

Материалом для статьи послужили данные таксации древостоя и учета возобновления, полученные на пробных площадях (ПП), которые были заложены в

коренных и условно-коренных (УК) насаждениях – темнохвойных нагорных (3 ПП) и долинных (3 ПП), в широколиственно-темнохвойных (4 ПП), а также в производных насаждениях – осинниках (2 ПП) и березняках (2 ПП).

В нагорных темнохвойных лесах участие темнохвойных пород в составе древостоя коренных насаждений достигает 10 единиц, УК насаждений – 9 единиц. Доля ели составляет в коренных насаждениях 6–7 единиц, в УК насаждении – 1 единицу, доля пихты составляет соответственно 2–3 единицы и 8 единиц (табл. 1). По запасу древесины ель превосходит пихту в коренных насаждениях в 1,8–2,9 раза, в УК насаждении пихта превосходит ель в 6,6 раза. Плотность деревьев пихты выше, чем ели (как и во всех исследованных насаждениях, как темнохвойных, так и широколиственно-темнохвойных) в коренных насаждениях – в 1,9–3,5 раза, в УК насаждении – в 11 раз. Плотность подроста темнохвойных пород составляет: крупного – 0,4–2,0 тыс. шт./га, мелкого – 1,1–5,6 тыс. шт./га. В составе подроста преобладает пихта.

Таблица 1. Показатели ценотической активности ели сибирской и пихты сибирской на западном склоне Южного Урала

Доля в составе древостоя, единиц		Запас древесины, м^3/га		Плотность деревьев, шт./га		Плотность подроста, тыс. шт./га			
						крупный		мелкий	
ель	пихта	ель	пихта	ель	пихта	ель	пихта	ель	пихта
Долинные темнохвойные леса									
4-6	2-4	167-180	96-133	196-360	368-620	0,4-0,9	1,6-5,7	0,6-1,2	4,3-6,5
Нагорные темнохвойные леса									
1-7	2-8	48-227	77-315	192-264	512-672	0,1-1,1	0,3-0,9	0-3,3	1,1-2,3
Смешанные широколиственно-темнохвойные леса									
6-7	1-2	227-262	42-94	108-172	372-452	0,1	0,5-2,9	0-2,2	0,2-0,8
Производные осиновые насаждения									
0,2- 1	0,4-2	7-51	16-95	8-96	256-332	0	0,3-1,4	0	1,0-1,2
Производные березовые насаждения									
0,1-0,3	1-2	5-13	56-63	4-12	404-428	0-0,1	0,2-2,5	0-0,2	1,0-9,2

В долинных темнохвойных лесах участие темнохвойных пород в составе древостоя коренных насаждений составляет до 10 единиц, УК насаждений – до 7 единиц. Доля ели составляет соответственно до 6 и 4 единиц, пихты – до 4 и 2–3 единиц. По запасу древесины ель превосходит пихту в коренных и УК насаждениях в 1,3–1,9 раза. По плотности деревьев преобладает пихта, превосходя ель в 1,5–3 раза. Плотность подроста темнохвойных пород превышает показатели нагорных насаждений, плотность крупного подроста – 2,5–6,1 тыс. шт./га, мелкого – 5,5–7,1 тыс. шт./га. В составе подроста также преобладает пихта.

В смешанных широколиственно-темнохвойных насаждениях участие темнохвойных пород в составе древостоя составляет до 6 единиц в УК насаждениях и до 8 единиц в коренных насаждениях. Доля ели составляет соответственно от 3 до 7 единиц, пихты – от 1 до 5 единиц. По запасу древесины ель превосходит пихту в коренных насаждениях в 3–5 раз, в УК насаждениях – в 1–2 раза. По плотности деревьев пихта превосходит ель в коренных насаждениях в 2 раза, в УК насаждениях – в 3–7 раз. Плотность подроста темнохвойных пород составляет: крупного – 0,6–3,0 тыс. шт./га, мелкого – 0,8–2,4 тыс. шт./га. Во всех исследованных смешанных насаждениях в составе крупного подроста преобладает пихта, в коренном насаждении в составе мелкого подроста преобладает ель.

В производных насаждениях, осинниках и березняках, участие темнохвойных пород в составе древостоя достигает 2–3 единиц, в т. ч. ели – до 1 единицы, пихты – до

2 единиц. Пихта встречена во всех исследованных насаждениях, она более многочисленна, чем ель. По запасу древесины пихта преобладает в березняках, превосходя ель в 4–13 раз. В осинниках преобладают как пихта (в 14 раз), так и ель (в 3 раза). Подрост пихты встречен во всех насаждениях, в березняке отмечен взрыв возобновления. Малочисленный подрост ели встречен лишь в березняках.

Единичные деревья и редкий крупный подрост пихты встречаются в некоторых типах широколиственных насаждений, в частности, в кленовниках. Запас древесины пихты достигает 10–32 м^3/га, плотность подроста – до 0,1 тыс. шт./га. Деревья и подрост ели в широколиственных насаждениях не встречены.

Результаты исследований показали: на западном склоне Южного Урала в районе смешанных широколиственно-темнохвойных лесов темнохвойные породы активно участвуют в лесообразовательном процессе. Экотопические ареалы ели и пихты охватывают практически весь спектр лесорастительных условий, проявляя при этом разную ценотическую активность. Экотопический ареал пихты несколько шире, чем ели. Высокая ценотическая активность пихты наблюдается на склонах северных экспозиций. Пихта входит в состав древостоя некоторых типов широколиственных насаждений (кленовников). Экотопический ареал ели более узкий, доминирование ели наблюдается в свежих и влажных долинных экотопах, а также на вогнутых и нижних участках длинных склонов. Лимитирующим фактором, ограничивающим лесообразующие потенции темнохвойных пород в данном регионе, является недостаток влаги в отдельные периоды (засухи), на который накладывается пирогенный фактор.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андреев Г.В.* Восстановительно-возрастная динамика темнохвойных древостоев на Южном Урале (на примере северной части западного макросклона): автореф. дисс ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 26 с.
2. *Горичев Ю.П., Давыдычев А.Н.* Восстановительные лесные процессы в послерубочных лесных сообществах Южно-Уральского заповедника // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2009. 18. № 4. С. 125–130.
3. *Горичев Ю.П., Давыдычев А.Н., Алибаев Ф.Х., Кулагин А.Ю.* Широколиственно-темнохвойные леса Южного Урала: пространственная дифференциация, фитоценотические особенности и естественное возобновление. Уфа: Гилем, 2012. 176 с.
4. *Горчаковский П.Л.* Широколиственные леса и их место в растительном покрове Южного Урала. М.: Наука, 1972. 146 с.
5. *Давыдычев А.Н., Горичев Ю.П., Кулагин А.Ю., Сулейманов Р.Р.* Лесовозобновительные процессы под пологом древостоя в широколиственно-темнохвойных лесах Южного Урала // Лесоведение. 2011. 1. С. 39–48.
6. *Давыдычев А.Н., Горичев Ю.П., Кулагин А.Ю.* Естественное попологовое возобновление и экологическая видоспецифичность пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) в подзоне широколиственно-темнохвойных лесов Южного Урала // Вестник Удмуртского гос. университета. 2016. Сер. Биология. Науки о Земле. Вып. 3. С. 46–57.
7. *Иванова Н.С., Андреев Г.В.* Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели и пихты в темнохвойных лесах Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2008. 6. С. 82–86.
8. *Колесников Б.П.* Леса Челябинской области // Леса СССР. Т. 4. М.: Наука, 1969. С. 125–156.

ПОПУЛЯЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СУКЦЕССИОННОГО СТАТУСА ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А.В. ГОРНОВ, М.В. ГОРНОВА, Е.В. ТИХОНОВА, Н.Е. ШЕВЧЕНКО, А.И. КУЗНЕЦОВА, Д.Н. ТЕБЕНЬКОВА, Е.В. РУЧИНСКАЯ, Н.В. ЛУКИНА

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия (aleksey-gornov@yandex.ru)

Дана оценка сукцессионного статуса равнинных и горных лесов европейской части России на основе популяционного подхода. Равнинные леса исследованы в Брянском полесье и на Москворецко-Окской равнине, горные – на Северо-Западном Кавказе. В результате спонтанного развития на исследуемых территориях формируются диаспорические субклимаксные леса с устойчивым оборотом поколений в популяциях ограниченного числа видов деревьев: в Брянском полесье – четырех видов (*Acer platanoides, Fraxinus excelsior, Tilia cordata* и *Ulmus glabra*); на Москворецко-Окской равнине – двух видов (*Picea abies* и *Tilia cordata*); на Северо-Западном Кавказе – двух видов (*Abies nordmanniana* и *Fagus orientalis*).

POPULATION-BASED APPROACH OF SUCCESSION STAGE ASSESSMENT OF MIXED FORESTS IN EUROPEAN PART OF RUSSIA

A.V. GORNOV, M.V. GORNOVA, E.V. TIKHONOVA, N.E. SHEVCHENKO, A.I. KUZNETSOVA, D.N. TEBENKOVA, E.V. RUCHINSKAYA, N.V. LUKINA

Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia (aleksey-gornov@yandex.ru)

The successional status of the plains and mountain forests of the European part of Russia was assessed on the basis of the population approach. Plain forests have been explored in the Bryansk Polesye and on the Moskvoretsko-Oka Plain, and the mountain forests in the North-Western Caucasus. As a result of spontaneous development, diasporic subclimax forests with sustainable generation turnover in populations of a limited number of tree species are formed in the study areas in the Bryansk Polesye: four species (*Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior, Tilia cordata* and *Ulmus glabra*); on the Moskvoretsko-Oka plain – two species (*Picea abies* and *Tilia cordata*); and in the North-Western Caucasus – two species (*Abies nordmanniana* and *Fagus orientalis*).

Леса европейской части России долгое время подвержены комбинированному влиянию природных и антропогенных факторов. В результате этого значительная часть современного лесного покрова представлена вторичными древостоями, находящимися на различных стадиях восстановительных сукцессий [12, 7, 1, 6, 4, 8]. Цель работы – оценить сукцессионный статус хвойно-широколиственных лесов европейской части России на основе популяционного подхода [11, 10, 3].

В работе применены демографические и геоботанические методы. Сукцессионные состояния в лесных сообществах характеризуются большой длительностью, превышающей жизнь исследователя. Поэтому пространственные ряды рассматривали в трактовке временных [7, 1, 4]. На исследуемых территориях в однотипных местообитаниях подбирали пространственный ряд и описывали предполагаемую сукцессионную смену сообществ. Сукцессионный статус лесов оценивали по индикаторам, которые разработаны отечественными популяционными биологами [10, 3]. К основным из них относятся полночленность видового набора деревьев (как основных ценозообразователей) и онтогенетического состава их ценопопуляций.

Оценка сукцессионного статуса лесов проведена в равнинных и горных лесах европейской части России. Равнинные леса исследовали в Брянском полесье и на Москворецко-Окской равнине, горные – на Северо-Западном Кавказе [2].

Брянское полесье. Исследования проводили в юго-восточной части Брянского полесья в пределах заповедника «Брянский лес». В ботанико-географическом плане

территория относится к Полесской подпровинции Восточноевропейской провинции Европейской широколиственнолесной области [9]. Выбран сукцессионный ряд формирования полидоминантных широколиственных лесов с елью на вершинах грив зандровых местностей. На начальной стадии восстановления доминируют раннесукцессионные светолюбивые деревья (*Pinus sylvestris* и *Betula pubescens*), ценопопуляции которых обладают неполночленными онтогенетическими спектрами. Под их полог первыми внедряются виды с наибольшим радиусом разноса семян – *Quercus robur, Sorbus aucuparia* и *Picea abies*. К моменту исследования, за 60 лет, они сумели сформировать инвазионный онтогенетический спектр с относительно высокой численностью особей. На промежуточной стадии, к 120 годам, в сообществах появились деревья с меньшим радиусом разноса семян: *Acer platanoides, Fraxinus excelsior, Tilia cordata* и *Ulmus glabra.* Одна часть (клен и липа) сформировала многочисленные ценопопуляции с левосторонним онтогенетическим спектром, другая часть (ясень и ильм) – только инвазионные ценопопуляции. У клена и липы в окружающем растительном покрове сохранилось достаточное число генеративных особей, которые могут поставлять диаспоры, для быстрого восстановления ценопопуляций, а у ясеня и ильма плодоносящих деревьев мало. На продвинутой стадии сукцессии (свыше 120 лет) в ценопопуляциях наиболее теневыносливых видов (*Acer platanoides, Fraxinus excelsior, Tilia cordata, Ulmus glabra*) формируется устойчивый оборот поколений, а у слабо теневыносливого дуба – нет. В результате изученные сообщества со временем образуют полидоминантные субклимаксные ценозы, в которых будут отсутствовать сосна обыкновенная и дуб черешчатый.

Москворецко-Окская равнина. Исследования проводили на территории Валуевского лесопарка. В ботанико-географическом плане территория относится к Валдайско-Онежской подпровинции Североевропейской таежной провинции Евразиатской таежной (хвойно-лесной) области [9]. В сукцессионном развитии сообществ на Москворецко-Окской равнине выделено два варианта восстановления зональных хвойно-широколиственных лесов: на месте вырубок и на месте светлых лесов. Популяционный анализ показал, что на покровных суглинках на месте вырубленных лесов идет активное восстановление ценопопуляций наиболее теневыносливых видов – *Acer platanoides* и *Tilia cordata.* К 60 годам они сумели сформировать устойчивый оборот поколений. Под их пологом периодически появляются отдельные особи *Fraxinus excelsior, Ulmus glabra* и *Picea abies.* Однако из-за низкой освещенности под пологом липы и клена, а также из-за чрезвычайно малого притока семян они не могут сформировать полночленные популяции. Под липой и кленом не может прижиться подрост светолюбивого дуба черешчатого. Таким образом, на месте изученных сообществ, возникших в результате сплошных рубок, при спонтанном развитии без вмешательства человека со временем сформируется олигодоминантный кленово-липовый субклимакс без дуба, ясеня, ильма и ели. Ценопопуляционный анализ сообществ на месте светлых лесов показал, что здесь активно внедряются *Tilia cordata* и *Picea abies*. К 100 годам они сумели сформировать популяции с устойчивым оборотом поколений. Эти сообщества полностью лишены притока семян *Acer platanoides, Fraxinus excelsior* и *Ulmus glabra.* При этом темный полог из липы и ели со временем не позволит приживаться подросту дуба. В итоге здесь возникает олигодоминантный елово-липовый субклимакс без дуба, ясеня, ильма и клена.

Северо-Западный Кавказ. Исследование проводилось в верховьях р. Пшехи (Краснодарский край, Апшеронское лесничество) и р. Белой (Республика Адыгея, Кавказский биосферный заповедник). Эта территория относится к Западной горной провинции Большого Кавказа [5]. По ботанико-географическому районированию

территория относится к Колхидской подпровинции Евксинской провинции Европейской широколиственной области [9]. Выбран сукцессионный ряд формирования буково-темнохвойных лесов в среднегорном поясе Северо-Западного Кавказа. Древостой в послерубочных лесах на первом этапе демутации сформирован преимущественно из светолюбивых видов, которые отличаются высокой скоростью роста и большой дальностью разноса семян: *Betula pubescens, Carpinus betulus, Populus tremula*, *Quercus petraea* и др. Ценопопуляции этих видов, как правило, характеризуются прерывистыми онтогенетическими спектрами и только береза – регрессивным. Под их пологом к 50-70 годам представлены инвазионные ценопопуляции практически всех потенциальных ценозообразователей. Однако, начиная со второго этапа, доминирование в подросте получают наиболее теневыносливые виды – *Abies nordmanniana* и *Fagus orientalis*. Из-за усиления их участия в сообществе уменьшается численность ценопопуляций других видов деревьев. На заключительных этапах, когда пихта и бук выходят в верхний ярус, ценопопуляции большинства других видов деревьев становятся фрагментарными и постепенно исчезают. В результате на месте рубок с течением времени сформируются олигодоминантные буково-пихтовые леса субклимаксного типа. В этих ценозах из-за низкой освещенности восстановление других видов деревьев станет невозможным.

Заключение. Оценка сукцессионного статуса равнинных и горных лесов европейской части России на основе популяционного подхода выявила особенности в их структуре, которые определяют путь развития древостоев. В результате спонтанного развития на исследуемых территориях формируются диаспорические субклимаксные леса с устойчивым оборотом поколений в популяциях ограниченного числа видов деревьев: в Брянском полесье – четырех видов (*Acer platanoides, Fraxinus excelsior, Tilia cordata* и *Ulmus glabra*); на Москворецко-Окской равнине – двух видов (*Picea abies* и *Tilia cordata*); на Северо-Западном Кавказе – двух видов (*Abies nordmanniana* и *Fagus orientalis*).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Восточноевропейские* леса: история в голоцене и современность. / Под. ред. О.В. Смирновой. М.: Наука, 2004 а. Кн. 1. 479 с.; 2004 б. Кн. 2. 575 с.
2. *Горнов А.В., Горнова М.В., Тихонова Е.В., Шевченко Н.Е., Кузнецова А.И., Ручинская Е.В., Тебенькова Д.Н.* Оценка сукцессионного статуса хвойно-широколиственных лесов европейской части России на основе популяционного подхода // Лесоведение. 2018. № 4. С. 1–15.
3. *Евстигнеев О.И., Горнова М.В.* Ельники высокотравные – климаксные сообщества на низинных болотах Брянского полесья // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2017. V. 2 (3). P. 1–23.
4. *Методические* подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки. / Отв.ред. Л. Б. Заугольнова, Т. Ю. Браславская. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 383 с.
5. *Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А.* Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть СССР. Кавказ: Учебник для студентов. 5-е изд. М.: Высш. шк., 1986. 376 С.
6. *Мониторинг* биологического разнообразия лесов России: методология и методы / Отв. ред. А.С. Исаев. М.: Наука, 2008. 453 с.
7. *Оценка* и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России / Отв. ред. Л. Б. Заугольнова. М.: Научный мир, 2000. 196 с.
8. *Разнообразие* и динамика лесных экосистем России. / Под ред. А.С. Исаева. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. Кн. 1. 461 с.; 2013. Кн. 2. 478 с.
9. *Растительность* европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. 431 с.

10. *Смирнова О.В.* Методологические подходы и методы оценки климаксового и сукцессионного состояния лесных экосистем (на примере Восточноевропейских лесов) // Лесоведение. 2004. № 3. С. 15–27.
11. *Смирнова О.В., Бобровский М.В., Ханина Л.Г.* Оценка и прогноз сукцессионных процессов в лесных ценозах на основе демографических методов // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 2001. Т. 106. № 5. С. 25–33.
12. *Сукцессионные* процессы в заповедниках России и проблемы сохранения биологического разнообразия / Под. ред. О.В. Смирновой, Е.С. Шапошникова. СПб.: РБО, 1999. 549 с.

УДК 579.222.4+551.312.2

ОСОБЕННОСТИ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ ТУНДРОВОЙ И ЛЕСНОЙ ЗОН СИБИРИ

И.Д. ГРОДНИЦКАЯ[1], М.Ю. ТРУСОВА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (igrod@ksc.krasn.ru)
[2] Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия (mtrusova@ibp.krasn.ru)

Исследованы структура и функциональная активность микробных комплексов лесного олиго-мезотрофного кустарничково-травяно-мохового болота (ОМБ) (Центральная Эвенкия) и кустарничково-осокового болота (ПБ) полигональной тундры (дельта р. Лены, о. Самойловский). Почва лесного болота (ОМБ) отличалась от таковой полигональной тундры (ПБ) большей биогенностью – повышенными значениями биомассы (МБ) и наличием доступной органики ($C_{орг}$). Микробные сообщества участка ПБ отличались более высокой потенциальной активностью к метаногенезу и метанотрофии по сравнению с ОМБ. Метаногенная активность ПБ превышала таковую ОМБ в 20 раз, а метанотрофная – в 2,3 раза.

MICROBIAL COMMUNITIES FEATURES OF HYDROMORPHIC SOILS OF TUNDRA AND FOREST ZONES OF SIBERIA

I.D. GRODNITSKAYA[1], M.Yu. TRUSOVA[2]

[1] Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia (igrod@ksc.krasn.ru)
[2] Institute of Biophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia (mtrusova@ibp.krasn.ru)

The structure and functional activity of microbial complexes of forest oligo-mesotrophic shrub-grass-moss bog (OMB) (Central Evenkia) and shrub-sedge bog (PB) of polygonal tundra (Lena River Delta, Samoilovsky Island) were investigated. The soil of the forest bog (OMB) differed from that of polygonal tundra (PB) by its greater biogenicity – increased microbial biomass values (MB) and the availability of available organic matter (C_{org}). The microbial communities of the PB were distinguished by a higher potential activity to methanogenesis and methanotrophy, as compared with OMB. The methanogenic activity of PB was higher than that of OMB by 20 times, and methanotrophic – by 2.3 times.

В криогенных почвах севера Сибири, особенно гидроморфных, активность деструкционных процессов снижена, происходит дополнительное накопление органического вещества, которое частично разлагается в анаэробных условиях в течение короткого периода вегетации [4]. В результате глобальных изменений климата и роста антропогенных воздействий ожидается, что в первую очередь структурно-функциональные параметры и активность микробных комплексов криогенных почв существенно изменятся, что приведет к повышенному выделению CH_4 и CO_2. Влияние переувлажнения на криогенные почвы предполагает наличие особенностей в развитии микробных сообществ, накладывает определенный отпечаток на протекание биохимических процессов в них. В этой связи важно установить, является ли повышенное переувлажнение торфяных почв уравнивающим фактором, обусловливающим схожесть функционирования микробных сообществ, которые находятся в условиях криогенеза с различным климатом (резкоконтинентальный и субарктический). Предполагается, что активность микробоценозов в данных регионах должна различаться вследствие разного почвенного генезиса, мощности сезонно-талого горизонта, а сообщества цикла метана (метанотрофов/метаногенов) должны быть близки по качественному составу вследствие сходности гидротермических условий исследуемых болот. Особый интерес представляют разнообразие, численность, распространенность метаногенных и метанотрофных микроорганизмов в различных

природных экосистемах, что важно для оценки роли этих микроорганизмов в глобальных процессах продукции и окисления метана.

Целью работы являлись сравнительный анализ функциональной активности микробных сообществ двух болот различного генезиса, выявление качественного разнообразия микроорганизмов цикла метана и оценка их вклада в эмиссию CH_4 в зависимости от особенностей криогенных почв тундровой и лесной экосистем субарктической и бореальной зон Сибири.

Исследования проводили в двух регионах Сибири, расположенных в зоне распространения вечной мерзлоты, – северной тайге Центральной Эвенкии и субарктической полигональной тундре дельты р. Лена (остров Самойловский).

В субарктической тундре заболоченные полигональные участки расположены на территории международной российско-германской опытной станции «Остров Самойловский» (72°22′ с. ш., 126°28′ в. д.). Почва острова образована песками и наслоениями различной природы (слоёнкой) и характеризуется как мерзлотно-песчаная [1]. Объектом исследования являлся участок полигонального кустарничково-осокового болота (ПБ), которое представляет собой кочковатую поверхность. Средняя глубина сезонно-талого слоя в летние месяцы достигает 50–60 см.

В Центральной Эвенкии исследуемый участок расположен в монодоминантном лиственничнике (*Larix gmelinii* Rupr.) в районе Эвенкийского опорно-экспедиционного пункта Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Объектом исследований являлся участок мелкозалежного плоскобугристого талого олиго-мезотрофного кустарничково-травяного мохового болота (ОМБ), расположенного на первой надпойменной террасе р. Нижняя Тунгуска (64°10′ с. ш., 100°33′ в. д.). Болото характеризуется смешанным типом питания – атмосферными и талыми водами. Микрорельеф образуют моховые бугры высотой от 40 до 100 см и диаметром 100–250 см, образованные *Sphagnum fuscum, S. angustifolium* с примесью *Sph. Compactum,* и моховые (гипновые и сфагновые) кочки высотой 20–30 см, которые занимают около 80 % площади его поверхности. Средняя глубина сезонно-талого слоя для западин – 17 см и для бугров – 60 см [2].

Торфяная почва олиго-мезотрофного болота (ОМБ) относится к сильно- и среднекислым. Содержание углерода варьирует по профилю почвы, в верхних горизонтах составляет 48–49 %. Низкая концентрация зольных веществ существенно увеличивается с глубиной с постепенным разложением по профилю мхов.

На участке ПБ сформирован песчаный торф с низким содержанием $C_{орг}$ (24,3 %) в верхних горизонтах, слабощелочными значениями pH (с глубиной приближающимися к нейтральным) и высоким содержанием зольных веществ по всему профилю. Происхождение такого торфа связано с минерализованными отложениями грунтовых вод и свидетельствует об обильном поступлении различных минеральных наносов и соединений [1]. Степень разложения органического вещества в верхнем горизонте ПБ более низкая по сравнению с ОМБ.

В целом обеспеченность органогенными и минеральными элементами в лесном ОМБ выше, чем в ПБ тундры: $C_{орг}$ – в 2 раза, общего азота ($N_{вал}$) – в 5 раз, за исключением количества калия и магния, которых в ПБ больше в 6,6 и в 1,2 раза.

Активность микробных сообществ лесного ОМБ в целом превышала таковую ПБ тундры. Средние значения МБ бугров и западин ОМБ были выше в 2,0–2,6 раза таковых ПБ. Развитие МБ в обеих экосистемах зависело от кислотности среды, наличия доступного C и N. В ОМБ количество органического вещества с глубиной не снижалось и накапливалось в надмерзлотном слое, активность микробных сообществ (МБ) по профилю была достаточно высокая. В мерзлотно-песчаной почве тундрового болота – более низкое количество доступных для микробоценозов органических веществ, значения МБ ниже в 2,0–2,6 раза, чем в ОМБ. Вклад микроорганизмов в

углеродный пул в исследуемых болотах неодинаков: так, в ОМБ на буграх в среднем доля $C_{мик}$ от $C_{орг}$ составляла 0,12 %, в западинах – 0,22 %, а в ПБ – 0,30 %, что в 1,4– 2,5 раза больше, чем в лесной экосистеме.

Основными деструкторами органики криоземов субарктической и северо-таежной подзон Сибири являются представители домена Bacteria, на долю которых приходится от 96,6 до 98,7 %, значительная часть которых является психротолерантными. В основном это олиготрофы и олигонитрофилы, способные утилизировать элементы минерального питания и азот из рассеянного состояния [3]. В бактериальном сообществе обоих болот доминировали представители трех фил: *Proteobacteria*, *Actinobacteria* и *Acidobacteria*, соотношение которых в лесном и полигональном болотах различалась.

Несмотря на некоторую схожесть условий избыточного переувлажнения исследуемых болот (ОМБ, ПБ), микробные сообщества цикла метана (метанотрофы/метаногены) существенно различались по своей активности и качественному составу. Метаногенные археи (*Euryarchaeota*) в ПБ были более многочисленны и разнообразны (6 семейств) по сравнению с ОМБ (от 2 до 4 семейств). Способность к метаногенезу почвы ПБ превышала таковую ОМБ в 20 раз. Несмотря на то, что большее разнообразие метанотрофов (I и II типов) выявлено в ОМБ и встречались они по всей глубине профиля (вплоть до мерзлотного слоя), а в полигональном болоте метанотрофы были найдены только в верхних (до 20 см) слоях почвы, потенциальная метанотрофная активность ПБ была также выше в 2,3 раза, чем в ОМБ. Полагаем, что использованные для идентификации метанотрофов методики не позволили выявить полный спектр субарктических популяций. В целом микробные сообщества участка ПБ отличались более выраженной способностью к метаногенезу и метанотрофии, что опровергает предположение о схожести протекания этих процессов в условиях гидроморфизма.

Таким образом, есть все основания полагать, что при одинаковом повышении температуры воздуха и почвы в субарктических и бореальных зонах Сибири при увеличении глубины оттайки мерзлоты (СТС) из криогенных почв тундры следует ожидать выделения в атмосферу значительно большего количества парниковых газов (CH_4 и CO_2), чем из почв лесных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г.* Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: Арктики и Антарктики научно-исследовательский институт, 2013. 266 с.
2. *Гродницкая И.Д., Карпенко Л.В., Кнорре А.А., Сырцов С.Н.* Микробная активность торфяных почв заболоченных лиственничников и болота в криолитозоне Центральной Эвенкии // Почвоведение. 2013. № 1. С. 67–79.
3. *Сорокин Н.Д., Александров Д.Е., Гродницкая И.Д., Евграфова С.Ю.* Микробиологическая трансформация соединений углерода и азота в лесных почвах Центральной Эвенкии // Почвоведение. 2017. № 4. С. 490–496.
4. *Metje M., Frenzel P.* Methanogenesis and methanogenic pathways in a peat from subarctic permafrost // Environmental Microbiology. 2007. V. 9. P. 954–964.

УДК 631.416.5

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

М.С. ГРОМОВА, А.И. МАТВИЕНКО, О.В. МЕНЯЙЛО

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (mlevenshteyn@mail.ru, matstasya2008@gmail.com, menyailo@hotmail.com)

В лабораторном инкубационном эксперименте изучено влияние увеличения влажности почвы, добавления легкоразлагаемого субстрата, диапазона температур на Q_{10} минерализации С, установлена математическая зависимость между уровнем влажности почвы и температурной чувствительностью минерализации почвенного органического вещества.

INFLUENCE OF SOME EXTERNAL FACTORS ON TEMPERATURE SENSITIVITY OF CARBON MINERALIZATION IN SOIL

M.S. GROMOVA, A.I. MATVIENKO, O.V. MENYAILO

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc, Krasnoyarsk, Russia (mlevenshteyn@mail.ru, matstasya2008@gmail.com, menyailo@hotmail.com)

In a laboratory incubation experiment, the effect of increasing soil moisture, adding an easily decomposable substrate (glucose) and a temperature range on the Q_{10} of C mineralization was studied, a mathematical relationship was established between the level of soil moisture and the temperature sensitivity (Q_{10}) of soil organic matter mineralization.

Изучение температурного отклика экосистем важно для прогнозирования минерализации запасов почвенного органического вещества в условиях глобального потепления [2]. Скорость процессов минерализации зависит не только от температуры, но и от качества субстрата и уровня влажности почв [1]. В данном исследовании было изучено влияние диапазона температур, добавления глюкозы и варьирования влажности на Q_{10} минерализации С и установлена математическая зависимость между уровнем влажности почвы и температурной чувствительностью минерализации почвенного органического вещества.

В качестве образца была взята серая лесная почва с верхнего минерального горизонта из разнотравного березняка в районе Академгородка г. Красноярска. Образец инкубировали в течение 136 часов (около 6 суток) с регулярными циклами понижения-повышения в диапазоне температур 25–15–5 °С. За один цикл инкубации образцов температура сначала понижалась с 25 до 5 градусов с шагом в 10 градусов (25–15–5 °С), а затем повышалась с тем же шагом с 5 до 25 градусов (5–15–25 °С), при каждой температуре образец находился 4 часа. Измерения скорости образования CO_2 проводили спустя 3,5 часа от начала изменения температуры для того, чтобы образцы смогли стабилизироваться до нужной температуры. Значения Q_{10} при этом рассчитывались как соотношение средних скоростей образования CO_2 при высокой температуре (перед и после понижения температуры) к скоростям, измеренным при низкой.

Нами было замечено, что Q_{10} в отсутствие добавок и низкой влажности постоянен во времени при понижении (25–15 °С) и повышении (15–25 °С) температуры, а при низких температурах (15–5–15 °С) – нет. Мы предполагаем, что при низких температурах быстрее достигается лимитация почвенного органического субстрата вследствие его низкой скорости диффузии к местам ферментативной активности. Также при низком уровне влажности наблюдается как эффект диапазона температур – при низких температурах Q_{10} больше, – так и эффект вносимой глюкозы: добавление

субстрата снижает Q_{10}. Все эти эффекты сводятся на нет при увеличении влажности почвы. Однако при повышении температуры (15 – 25 °C), увеличении уровня влажности и внесении глюкозы наблюдался рост значений скоростей потоков CO_2 и Q_{10} во времени. Это может быть связано с прохождением микроорганизмами стадий лагфазы, роста и отмирания в условиях, максимально подходящих для быстрого роста и развития. При созданных нами условиях лимитация скорости субстратом сводится на нет: субстрат имеется в повышенном количестве и благодаря увеличенной влажности почвы находится в местах ферментативной активности, а температурный диапазон оптимален.

Мы обнаружили, что увеличение влажности почвы снижает Q_{10} минерализации С, а скорость потока CO_2 при этом, наоборот, повышается.

Также мы хотели установить математическую зависимость между влажностью почвы и Q_{10} минерализации С. Для этого в образце постепенно была изменена влажность: от начальной 9 % до 95 % ППВ. Как и предполагалось, зависимость скорости потока CO_2 от влажности описывается параболической функцией с максимумом в районе 40–45 % ППВ. Зависимость же температурной чувствительности минерализации С от уровня влажности представляет собой отрицательную линейную функцию с коэффициентом детерминации R^2=0,89. Увеличение влажности от начальных 9–10 % ППВ до конечных 95 % ППВ привело к снижению значений Q_{10} минерализации С почти на 40 %, что еще раз подтверждает: влажность – один из ключевых факторов скорости процессов минерализации углерода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каганов В.В., Курганова И.Н.* Оценка скорости минерализации органического вещества основных типов почв европейской части России при различных температурных режимах // Научные ведомости. 2011. № 15 (110). 16. С. 145–153.
2. *Jenkinson D.S., Adams D.E., Wild A.* Model estimates of CO_2 emissions from soil in response to global warming // Nature. 1991. 351: 304–306.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 17-04-01776 и 18-54-52005).

УДК 581.143.31:595.785: 630*453

МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦИИ ИСТОРИИ МАССОВЫХ РАЗМНОЖЕНИЙ ФИЛЛОФАГОВ ОСЕННЕЙ ФЕНОЛОГИЧЕСКОЙ ГРУППЫ

Д.А. ДЕМИДКО

Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия (sawer_beetle@mail.ru)

Предложен метод реконструкции произошедших в прошлом массовых размножений филлофагов осенней фенологической группы на примере *Bupalus piniaria* без привлечения данных по приросту неповреждаемой породы. Продемонстрировано его преимущество над предложенными ранее алгоритмами, указаны ограничения в применении.

THE NEW METHOD OF OUTBREAKS RECONSTRUCTION OF DEFOLIATORS FROM AUTUMN PHENOLOGICAL GROUP

D.A. DEMIDKO

V.N. Sukachev Institute of Forest FRC KSC SB RASc, Krasnoyarsk, Russia (sawer_beetle@mail.ru)

The new method of outbreak history reconstruction of phyllophagous insects from autumn phenological group is proposed (by the example of *Bupalus piniaria* L.). This method can be used without data from non-damaged tree species. It is actual for some regions such as forest-steppes and steppes of Southern Siberia. In this paper some benefits of new method are demonstrated and limitations are pointed out.

Сосновая пяденица *Bupalus piniaria* L. (Lepidoptera, Geometridae) распространена почти во всем ареале сосны обыкновенной *Pinus sylestris* L. Для популяций этой бабочки характерны квазипериодические колебания численности, на пике которой происходит дефолиация сосновых древостоев [2]. Исследования этих колебаний представляют очевидную прикладную ценность и интерес для познания динамики популяций. Однако длительность непосредственных наблюдений за численностью *B. piniaria* не превышает нескольких десятков лет [2, 6, 7, 9]. Частично проблема недостатка длительных наблюдений может быть решена с помощью реконструкции случаев дефолиации, которая ведет к выраженному уменьшению радиального прироста [2].

Подобные попытки ранее успешно предпринимались для других видов филлофагов и повреждаемых ими деревьев [5, 10]. Тем не менее, используемые предшественниками методики имеют некоторые трудноустранимые недостатки. Первый из них связан с необходимостью сопоставления рядов радиального прироста повреждаемого и неповреждаемого видов деревьев. Такой подход надежен и хорошо обоснован, но неприменим в случае отсутствия в регионе исследования подходящей неповреждаемой породы. Именно такая ситуация сложилась в лесостепных и степных борах Сибири, где сосна значительно превосходит по долговечности и устойчивости к гнилям другие виды деревьев, встречающиеся там в сколько-нибудь заметных количествах. Но даже при использовании набора признаков, позволяющих не опираться при реконструировании на данные о радиальном приросте неповреждаемого вида, остаются трудности с отделением спадов, вызванных дефолиацией, от таковых, связанных с другими неблагоприятными воздействиями, главным образом, пожарами и засухами [8].

Мы попытались создать свободную от этих недостатков методику реконструкции массовых размножений *B. piniaria* на основе особенностей реакции на дефолиацию прироста ранней (РД) и поздней (ПД) древесины. Согласно сделанному допущению, в год дефолиации n потеря ассимиляционного аппарата не повлияет на ксилогенез, так как основной ущерб сосновая пяденица наносит после его завершения. На следующий год n+1 влияние дефолиации на прирост РД будет невелико, поскольку древесина в начале вегетации формируется за счет накопленных в прошлом году запасных углеводов. Рост же

ПД будет ограничен, так как восстанавливающаяся хвоя не сможет синтезировать достаточно питательных веществ для его обеспечения. Сформированный в этом году пул запасных углеводов также будет невелик, что приведет к уменьшению в год *n*+2 уже прироста РД. Прирост же ПД в этом году начнет восстановление. Таким образом, на дефолиацию должен указывать резкий и синхронный спад прироста ПД, на следующий за которым год наблюдается такой же спад прироста РД.

Это предположение было проверено при анализе материала, собранного в трех древостоях из окрестностей г. Бийска (Алтайский край). Из каждого дерева приростным буравом брали один или два керна, после высушивания наклеивали их на деревянные рейки, шлифовали и сканировали с разрешением не ниже 1200 dpi. Ширина годичных колец (ШГК) РП и ДП измерялась в программе CooRecorder (Cybis, Швеция), перекрестное датирование по ШГК проводили в программе CDendro (Cybis). Если для одного дерева для дальнейшей работы отбирали более одного древесно-кольцевого ряда, то их усредняли. После этого для каждого древостоя в пакете dplR [4] определяли временные промежутки, на которых величина EPS для ШГК была не ниже 0,85 (табл. 1) и далее работали только с ними.

Таблица 1. Характеристики совокупностей древесно-кольцевых рядов, использованных для реконструкции дефолиации сосны

Древостой	Первый год	Последний год	Количество деревьев	Средний возраст, лет	EPS	SNR
Заречье	1944	2013	25	72	0,975	38,219
Соколово	1914	2013	15	111	0,960	24,172
Лесное	1937	2016	15	118	0,968	30,494

Выделение реперных (с резким и синхронным спадом прироста) лет для РД и ПД проводили с помощью dplR по критерию, предложенному в [3]. После этого мы, согласно описанным выше допущениям, выбирали реперные годы для ПД, непосредственно за которыми следовали таковые для РД (рис. 1). Год, предшествующий реперному для ПД, принимали как год дефолиации. Глубину и синхронность спада подбирали так, чтобы они на периоде мониторинга популяции *B. piniaria* (с 1996 года) позволяли обнаружить известные дефолиации, не давая ложноположительных результатов. Кроме того, мы проверили согласованность работы нашего критерия с алгоритмами OUTBREAK [в модификации 8] и локальных минимумов прироста [5], параметры которых оптимизировались с той же целью.

Из литературы и ведомственных материалов [1, 2] известен ряд массовых размножений *B. piniaria* в этом регионе (табл. 2). Предложенный критерий позволил обнаружить случаи дефолиации, соответствующие каждому из них (табл. 2). Почти всегда дефолиация датируется одним-тремя годами раньше приведенной в использованных источниках даты, что можно объяснить задержкой между нанесением ущерба и его обнаружением. Полученные результаты подтверждаются (рис. 1) методами, ранее применявшимися для реконструкции случаев дефолиации и хорошо себя зарекомендовавшими [5, 8]. Преимущество разработанного подхода заключается в меньшем количестве ложноположительных результатов, которые другие алгоритмы на тестовом временном отрезке дали для двух древостоев из трех.

Таблица 2. Результаты датирования случаев дефолиации в исследованных древостоях и их синхронность

Литературные данные			1933–1936	1940–1942	1950–1955				1987–1990	1996–1999	2003–2008
Заречье					1949	1959	1972	1978	1986	1996	2001
Соколово	1915	1924	1931	1941			1972		1984	1995	2002
Лесное					1948	1959		1977	1989	1995	

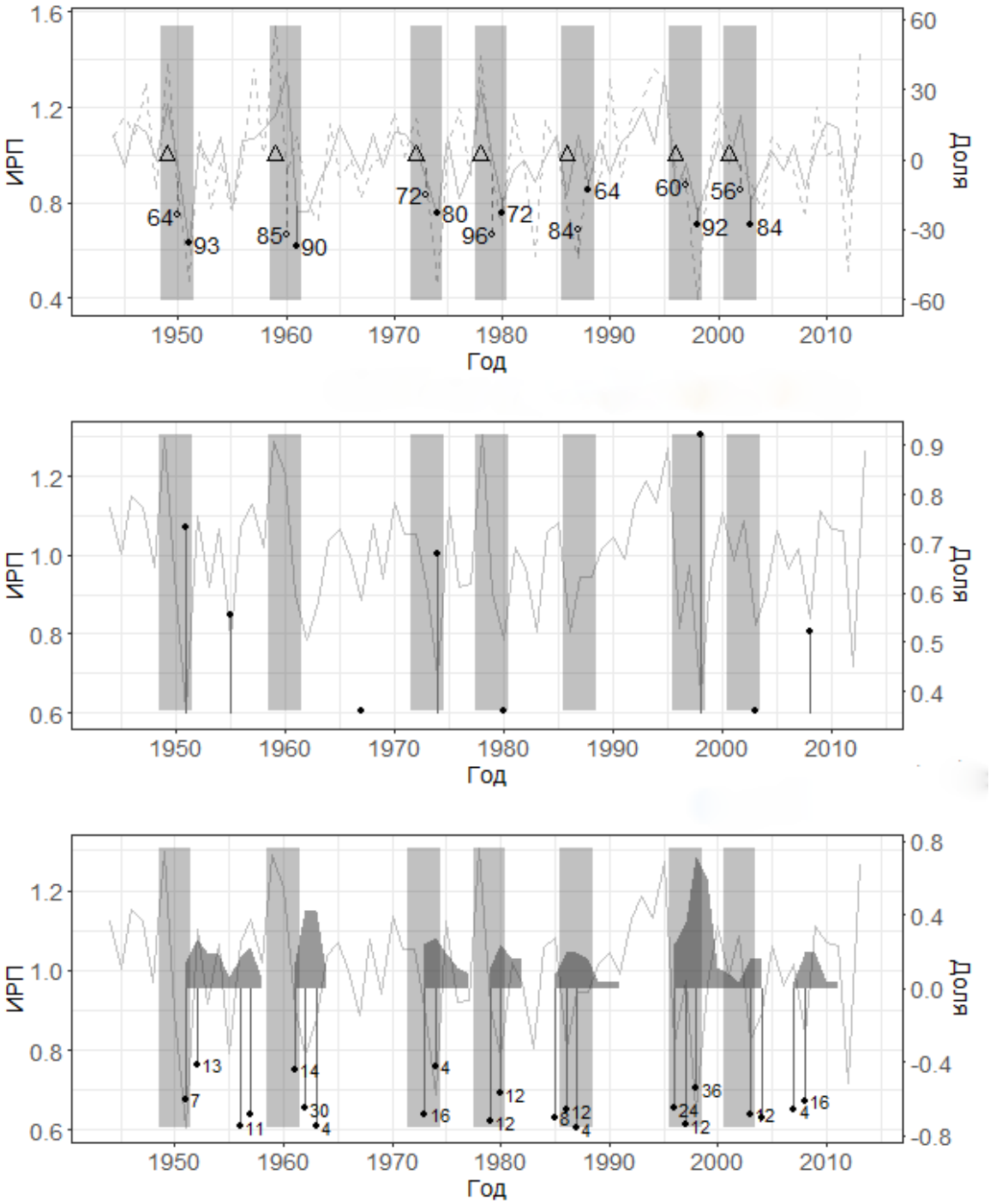


Рисунок 1. Реконструкция для древостоя Заречье согласно оригинальному методу (вверху), локальным минимумам (в центре), OUTBREAK (внизу). Треугольниками обозначены годы предполагаемой дефолиации, серыми полосами – период ее наибольшего влияния на прирост. Пунктир – индексированный прирост ПД, сплошная линия – то же, РД (вверху) и ширина годичного кольца (в центре, внизу). Вверху: точки без заливки – доля деревьев со спадом ПД, с заливкой – то же, РД. В центре: точка показывает долю деревьев с локальным минимумом прироста [5]. Внизу: число показывает долю деревьев с резким спадом ширины годичного кольца, точка – величину спада, темно-серая заливка – долю деревьев, для которых в данном году прирост отклонился от среднего на величину ниже пороговой [8]

Тем не менее, разработанный здесь критерий имеет два ограничения. Первое из них связано с фенологией исследуемого филлофага: он пригоден только если дефолиация будет приходиться на ту часть вегетационного периода, в которой ксилогенез почти полностью или совершенно прекращен. Второе ограничение связано с особенностями анатомии древесины исследуемого вида деревьев: метод неприменим для рассеяннососудистых видов, у которых ранняя и поздняя древесина не выделяются.

В дальнейшем, тем не менее, после соответствующей доработки этот метод можно будет применить для реконструкции массовых размножений филлофагов других фенологических групп. Особенно актуальна реконструкция массовых размножений сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* (Tschetv.) в древостоях с преобладанием *Abies sibirica* Ledeb. Детальное исследование периодичности этого явления важно как в связи с гибелью значительной части дефолиированных лесов, так и с образованием в них очагов массового размножения агрессивных ксилофагов, в том числе *Polygraphus proximus* Blandf. Появление таких очагов создает потенциальную угрозу для соседних непострадавших или оправившихся от повреждения лесных массивов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Егоров Н.Н.* Динамика численности некоторых вредных насекомых в защитных лесах Алтайского края за последнее 20-летие (1930–1949 гг. вкл.) // Массовые размножения животных и их прогнозы. Тез. докл. Ч. 3 Киев: Изд-во Киевского гос. ун-та, 1951 С. 77–88.
2. *Пальникова Е.Н., Свидерская И.В., Суховольский В.Г.* Сосновая пяденица в лесах Сибири. Экология, динамика численности, влияние на насаждения. Новосибирск: Наука, 2002. 232 с.
3. *Becker M., Nieminen T.M., Gérémia F.* Short-term variations and long-term changes in oak productivity in northeastern France. The role of climate and atmospheric CO_2 // Ann. Sci. For. 1994. 51: 477–492.
4. *Bunn A.G.* A dendrochronology program library in R (dplR) // Dendrochronologia. 2008. 26(2): 115–124.
5. *Büntgen U., Frank D., Liebhold A.* et al. Three centuries of insect outbreaks across the European Alps // New Phytologist. 2009. 182: 229–241.
6. *Klomp H.* The dynamics of field population of the *Bupalus piniarius* L. // Advans. Ecol. Res. 1966. Pp. 207–306.
7. *Schwerdtfeger F.* Forstinsekten im Ur- und Nutzwald. Allgem. Forstzeitschrift. 1957. 485 p.
8. *Speer J.H., Swetnam T.W., Wickman B.E.* et al. Changes in pandora moth outbreak dynamics during the past 622 years // Ecology. 2001. 82(3): 679–697.
9. *Straw N.A.* The impact of pine looper moth, *Bupahs piniaria* L. (Lepidoptera; Geometridae) on the growth of Scats pine in Tentsmuir Forest, Scotland // For. Ecol. Manag. 1996. 87: 209–232.
10. *Swetnam T.W., Wickman B.E., Paul H.G.* et al. Historical patterns of western spruce budworm and Douglas-fir tussock moth outbreaks in the Northern Blue Mountains, Oregon, since A.D. 1700 Portland, Oregon: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 27 p.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа частично поддержана грантом РФФИ 17-04-01765а и МОН РФ 4.8237.2013.

УДК 574.4

ОЦЕНКА ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ (CO_2, CH_4) ИЗ ЗАХОРОНЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЛЕВОМ ИНКУБАЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

С.Ю. ЕВГРАФОВА[1], В.К. КАДУЦКИЙ[2], М.К. МЕТЕЛЕВА[1], Г. ГУГГЕНБЕРГЕР[3], Д. ВАГНЕР[4]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (evgrafova@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3] Институт почвоведения Университета Лейбница, Ганновер, Германия
[4] Немецкий исследовательский центр наук о Земле, Потсдам, Германия

Проведена оценка эмиссии парниковых газов (CO_2, CH_4) при разложении захороненного почвенного органического вещества в полевом инкубационном эксперименте, заложенном в естественных условиях на научно-исследовательской станции «Остров Самойловский» (72°22′ с. ш., 126°28′ в. д.). Показано, что динамика выделения парниковых газов при разложении захороненной почвы в большей степени связана с динамикой температур верхних горизонтов почвы, чем с температурой воздуха. Внесение захороненной почвы в экосистему бровки морозобойного полигона достоверно увеличивало эмиссию метана и углекислого газа только спустя три года после начала эксперимента.

GREENHOUSE GASES (CO_2, CH_4) EMISSION FROM BURIED SOIL IN THE FIELD INCUBATION EXPERIMENT

S.Yu. EVGRAFOVA[1], V.K. KADUTSKIY[2], M. METELEVA[1], G. GUGGENBERGER[3], D. WAGNER[4]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (evgrafova@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[3] Institute of Soil Science, Leibniz University of Hannover, Germany
[4] GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany

Greenhouse gas emissions (CO_2, CH_4) during decomposition of buried soil in a field incubation experiment were assessed. The experiment is set up at the Samoilovsky Island research station (72°22′ N, 126°28′ E). Greenhouse gas emission dynamics during decomposition of buried soil is more associated with the temperature of the upper soil horizons than with the air temperature. The introducing of buried soil into the ecosystem of ice-wedge polygon significantly increased the emission of methane and carbon dioxide only three years after the start of the experiment.

В арктических экосистемах около 80 % почвенного органического вещества (ПОВ) сосредоточено ниже 30 см почвенного горизонта [3] и может быть защищено от разложения не только низкими температурами, но и лимитированием начальной энергии, необходимой микробам-редуцентам. К настоящему времени значительная часть мировых исследований в области изучения влияния последствий глобального изменения климата на мерзлотные экосистемы направлена на выяснение реакции почвенного органического вещества, захороненного в вечной мерзлоте, на возможное повышение температуры. В частности, существует достаточно распространенное мнение, что повышение температуры в арктическом регионе может напрямую или косвенно повлиять на разложение ПОВ в сторону его интенсификации [1, 2, 4].

Целью наших исследований была оценка скорости микробного разложения захороненной почвы и потоков выноса углерода из педосферы в условиях криолитозоны при помощи инкубационного эксперимента, заложенного в естественных условиях на научно-исследовательской станции «Остров Самойловский» (72°22′ с. ш., 126°28′ в. д.).

В августе 2015 года из эродированной северо-восточной части острова, которая открывает жилы льда и замороженный грунт, с глубины 1,5 м от поверхности нами

была извлечена захороненная почва с одновременным отбором образца на радиоуглеродную датировку. Почва без предварительного размораживания, весом около 3 кг, была помещена в полиэстеровый мелкоячеистый мешок и заложена в полевой инкубационный эксперимент, на валик морозобойного полигона. Эксперимент разделен на два варианта – имитация криотурбационных процессов (КП) и имитация береговой эрозии (БЭ). В варианте КП мешок с почвой закладывали под живой напочвенный покров мощностью 5 см. В варианте БЭ мешок с почвой экспонировался под открытым небом. Предварительно в местах закладки эксперимента вся почва до поверхности вечной мерзлоты была эвакуирована и заменена безуглеродным песком для нивелирования влияния почвенного гетеротрофного дыхания сезонно-талого горизонта. По периметру мешков с почвой были установлены пластиковые рамы-станины площадью 50×50 см, углубленные на 10 см в почву, сконструированные под установку камер-крышек для отбора образцов газов. Каждый вариант опыта (КП и БЭ) был заложен в трех повторностях, также в трех повторностях были заложены участки контроля нарушений – полный аналог экспериментальных вариантов, но без почвы. Мониторинг динамики выделения метана и углекислоты из эксперимента проводился в течение июля – августа 2016 года и августа 2017 и 2018 годов с использованием темных камер. Образцы газов анализировали на газовом хроматографе Agilent 7890A, установленном в лаборатории НИС «Остров Самойловский».

Методом радиоуглеродной датировки было установлено, что возраст почвы, используемой в эксперименте, составляет около 5 тыс. лет.

Данные трехлетних наблюдений выделения парниковых газов (CO_2 и CH_4) из вариантов полевого инкубационного эксперимента показали, что через год после закладки захороненной почвы в эксперимент различия между опытными площадками и контролем нарушений являлись незначительными. Так, в год наблюдений, следующий за годом закладки эксперимента, к концу августа наблюдалось незначительное увеличение потоков CO_2 в варианте КП, которое, однако, снизилось вслед за понижением среднесуточных температур воздуха. Достоверное, по сравнению с контролем нарушений, выделение метана происходило только из захороненной почвы в варианте КП. В вариантах эксперимента БЭ эмиссия обоих исследуемых парниковых газов была недостоверна по сравнению с участками контроля нарушений. Через два года после закладки эксперимента интенсивность и динамика эмиссии CO_2 и CH_4 была схожа с таковой предыдущего года исследований. Выделение CO_2 также происходило интенсивнее в вариантах эксперимента КП, чем БЭ, но его отличие от вариантов контроля нарушений было очень низким, что позволяло предположить слабую вовлеченность захороненной почвы в процессы микробного разложения в текущих природных условиях. Достоверные различия между эмиссией газов из вариантов эксперимента, содержащих захороненную почву, и контролем нарушений были зарегистрированы только в августе 2018 года, то есть через 3 года после внесения захороненной почвы в эксперимент.

В целом динамика выделения парниковых газов была в прямой зависимости от температуры верхних горизонтов почвенного слоя в течение всех трех периодов наблюдений (июль – август 2016 г., август 2017 г., август 2018 г.). Внесение захороненной почвы в экосистему бровки морозобойного полигона достоверно увеличивало эмиссию метана и углекислого газа с поверхности почвы только спустя три года после начала эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Conant R.T., Ryan M.G., Ågren G.I., Birge H.E., Davidson E.A., Eliasson P.E., Evans S.E., Frey S.D., Giardina C.P., Hopkins F.M., Hyvönen R., Kirschbaum M.U., Lavallee J.M., Leifeld J., Parton W.J., Steinweg J.M., Wallenstein M.D., Wetterstedt J.Å., Bradford M.A.* Temperature and

soil organic matter decomposition rate sesynthesis of current knowledge and a way forward // Global Change Biology. 2011. 17: 3392–3404.
2. *Hartley I.P., Hopkins D.W., Garnett M.H., Sommerkorn M., Wookey P.A.* Soil microbial respiration in arctic soil does not acclimate to temperature // Ecology Letters. 2008. 11: 1092–1100.
3. *Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S.* Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // Global Biogeochemical Cycles. 2009. 23: GB2023.
4. *Wild B., Schnecker J., Eloy Alves R.J., Barsukov P., Bárta J., Capek P., Gentsch N., Gittel AGuggenberger G., Lashchinskiy N., Mikutta R., Rusalimova O., Santrucková H., Shibistova O., Urich T., Watzka M., Zrazhevskaya G. and Richter A*. Input of easily available organic C and N stimulates microbial decomposition of soil organic matter in arctic permafrost soil // Soil Biology&Biochemistry. 2014. 75: 143–151.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания № АААА-А17-117101940016-3 (№ 0356-2019-0009) «Динамика лесов Сибири в меняющемся климате: мониторинг жизненного состояния, продуктивности и ареалов основных лесообразующих видов древесных растений», а также частично по проекту РФФИ-Арктика № 18-05-60291.

УДК 634.0.114

ОСОБЕННОСТИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЖАРОВ В ЗАБАЙКАЛЬЕ

М.Д. ЕВДОКИМЕНКО, А.Е. ПЕТРЕНКО

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (alcorsci@bk.ru)

Отмечаются неблагоприятные особенности природы растительных пожаров в регионе. Рассмотрены пирологические режимы растительности: благополучный, умеренный, интенсивный, экстремальный. Специфическая пирологическая монотонность растительности и регресс традиционной противопожарной профилактики чреваты опасными ландшафтными пожарами.

PECULIARITIES OF VEGETATION FIRES IN TRANSBAIKALIA

M.D. EVDOKIMENKO, A.E. PETRENKO

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (alcorsci@bk.ru)

Adverse features of the nature of vegetation fires in the region are denoted. Pyrological regimes of vegetation: safe, moderate, intense, extreme are considered. The specific pyrologic monotony of the vegetation and the regression of regular fire prevention measures can lead to dangerous landscape fires.

Ныне по давно сложившейся традиции Забайкалье опять лидировало среди неблагополучных регионов, пострадавших от раннего возникновения степных пожаров и бедственных последствий огненной стихии. Уже в самом начале пожароопасного сезона от степных палов сплошь горели жилые дома в поселках с невиданными прежде потерями хозяйственной инфраструктуры, гибелью скота и др. Чтобы несколько стабилизировать возникшую ситуацию, МЧС задействовало самолеты Бе-200 специально для тушения наиболее опасных степных пожаров.

Научный совет СО РАН по проблемам оз. Байкал на выездном заседании, проходившем в Иркутском научном центре (январь 2019 г.), отмечал крайне неблагополучное состояние байкальских лесов, нарушенных катастрофическими пожарами, от которых особенно пострадали темнохвойные леса Южного Прибайкалья. Поэтому результаты проведенных нами исследований природы пожаров в Забайкалье и Байкальском регионе представляются актуальными.

К настоящему времени получена достаточно полная картина потенциальной пожароопасности территории региона, дифференцированная по высотно-поясным комплексам (ВПК) в зависимости от фенологического состояния растительности и метеорологической ситуации [1], что позволяет объективно определять пирологические режимы на конкретных участках (местностях, ВПК, типах леса и др.). По определению В.В. Фуряева [5], пирологический режим природных территориальных комплексов характеризует взаимообусловленное состояние экологических режимов и динамики лесов с интенсивностью и последствиями пожаров.

В наших исследованиях пирологических режимов применительно к горным ландшафтам бассейна оз. Байкал и Забайкалья, отличающимся своеобразием природных условий, основными показателями были потенциальная пожароопасность конкретных категорий (ВПК, типов леса), а также интенсивность и экологические последствия пожаров [3]. По аналогии с классификацией В.В. Фуряева установлены четыре градации пирологического режима, но их названия акцентированы на соответствующую экологическую ситуацию: благополучный, умеренный, интенсивный, экстремальный (табл. 1). Прослежена зависимость пирологических режимов по ВПК от метеорологической ситуации. Получены необходимые оценки размеров пожароопасной территории, а также возможной длительности

пожароопасного состояния – как суммарной за год, так и непрерывной в течение весенне-летнего пожарного максимума.

Установлены основные параметры пирологических режимов. Так, при благополучном режиме пожароопасное состояние возможно лишь фрагментарно (до 10 % территории соответствующего ВПК); его суммарная длительность за весь сезон не превышает 40 дней, а максимальная непрерывная – 10 дней. При умеренном варианте эти показатели составляют соответственно 11–30 % территории, суммарная длительность – 41–70, а максимальная непрерывная — 11–20 дней. Интенсивный вариант – 30–70 %, 71–100 и 21–30 дней. При экстремальном режиме — сплошная пожароопасность экосистем, 101–140 и 31–70 дней.

Каждому ВПК свойственны свои доминанты в растительном покрове и характерные их сочетания. Широкий высотный диапазон атмосферного увлажнения в регионе обусловливает закономерные переходы от одних комплексов к другим [1, 4], а соответственно, их пирологические режимы.

Таблица 1. Пирологические режимы ВПК в Забайкалье и Байкальском регионе

Высотно-поясные комплексы, преобладающая растительность	Пирологические режимы		
	Обычные сезоны	Засушливые сезоны	Влажные сезоны
Лугово-степной, горная степь	экстремальный	экстремальный	интенсивный
Подтаежно-лесостепной, сосняки разнотравные и рододендроновые	интенсивный	экстремальный	умеренный
Светлохвойный таежный, сосново-лиственничные насаждения с зеленомошно-кустарничковым покровом, ерниковые заросли	интенсивный	экстремальный	умеренный
Кедровый таежный, кедровники зеленомошно-брусничные	умеренный	интенсивный	благополучный
Кедрово-пихтовый, кедровники и пихтарники чернично-зеленомошные	умеренный	интенсивный	благополучный
Субальпийско-подгольцовый, хвойные редколесья и заросли кедрового стланика	благополучный	умеренный	благополучный

В зоне недостаточного увлажнения, особенно в низкогорьях на юге и юго-востоке Забайкалья, преобладают аридные степные комплексы с лесостепью и подтайгой, которые регулярно подвержены интенсивному и экстремальному (устанавливается с весны) режимам. Лесистость территории не превышает 20–40 %, а в составе лесов доминирует сосна обыкновенная. В зоне умеренного увлажнения, на холодных с мерзлотой почвах среднегорий, господствуют таежные лиственничники. Там при обычной метеоситуации характерен преимущественно интенсивный режим. К влажным поясам (выше 1200 м) приурочены темнохвойные комплексы с умеренным пирологическим режимом. Растительность, образующая и окаймляющая верхнюю границу леса с характерным для нее избыточным увлажнением и недостатком тепла, представлена сложными субальпийскими комплексами, для которых типичен относительно благополучный режим.

С пирологической точки зрения в Забайкалье отмечается особенно неблагоприятное сочетание ксерофитной степной растительности и высокопожароопасных типов светлохвойных лесов, произрастающих на необъятных пространствах в условиях засушливого климата. Годовая норма осадков в

светлохвойной тайге составляет всего 280–330 мм, а в подтайге и лесостепи она еще меньше. К тому же на долю снега приходится лишь 5–10 % от указанной скудной величины. Мизерный снежный покров сходит рано, преимущественно испаряясь в сухой воздушной среде, поэтому напочвенный слой горючих материалов практически не увлажняется талой водой, особенно на инсолируемых местах, из-за ее скудности или полного отсутствия.

На протяжении всей весны на доминирующих по занимаемой территории ВПК (лугово-степной, подтаежно-лесостепной и светлохвойный таежный) обычно не бывает осадков, способных устранить или хотя бы несколько ослабить пожароопасность. По данным гидрометеослужбы, в течение марта – апреля осадки более 1 мм выпадают не чаще одного раза за декаду, а осадков более 5 мм, которые способны устранить пожароопасность хотя бы на 1–2 дня, не бывает вовсе. Это вероятно лишь единожды в последней декаде мая. К тому же в особенно засушливые сезоны засуха длится до начала июня, а далее со слабыми паузами растягивается на весь июль и до августа включительно. В катастрофическом сезоне 2015 г. засуха продолжалась и в сентябре.

Крайне неблагоприятной особенностью природной пожароопасности в регионе является пирологическая монотонность на преобладающей части территории при сравнительно низком (около 3000 ед.) значении комплексного метеопоказателя, в соответствии с которым регламентируется деятельность противопожарной охраны лесов. Обычно к исходу второй недели сухой погоды примерно на две трети территория становится пожароопасной при отсутствии естественных препятствий для огня за исключением озер и широких рек. Отсюда высок риск возникновения опасных ландшафтных пожаров.

В 1970-х гг. после известных правительственных постановлений об охране оз. Байкал были приняты конструктивные меры по модернизации противопожарной охраны лесов по всему Забайкалью. При этом значительную позитивную роль сыграли исследования природы пожаров, выполненные Институтом леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР. Уровень противопожарной охраны лесов в 1980-х гг. стал вполне адекватен сложным природным условиям региона. Поэтому в данном отношении отпали препятствия для отнесения оз. Байкал к объектам Всемирного природного наследия [2].

К сожалению, последовавшие далее либеральные реформы деструктивно отразились на всем лесном комплексе, а в особенности на противопожарной охране лесов. Коренная причина бедственных изменений заключается в том, что был нарушен вековой уклад жизни селян со сложившейся экологической сбалансированностью, включая системное проведение противопожарной профилактики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Евдокименко М.Д.* Потенциальная пожароопасность лесов в бассейне оз. Байкал // Лесоведение. 1991. 5. С. 14–25.
2. *Евдокименко М.Д.* Природа пожаров в байкальских лесах и совершенствование их противопожарной охраны // Леса бассейна Байкала (состояние, использование и охрана). Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2008. С. 159–227.
3. *Евдокименко М.Д., Краснощеков Ю.Н.* Лесоэкологические последствия пирогенных аномалий в бассейне озера Байкал // Сибирский лесной журнал. 2014. 4. С. 66–77.
4. *Поликарпов Н.П., Бабинцева Р.М., Чередникова Ю.С.* Экологические основы ведения лесного хозяйства в бассейне оз. Байкал // Растительные ресурсы Забайкалья, их охрана и использование. Улан-Удэ, 1979. С. 52–57.
5. *Фуряев В.В*. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма РАН, 1996. 253 с.

УДК 634.0.114

ПИРОГЕННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ПРИБАЙКАЛЬЕ

М.Д. ЕВДОКИМЕНКО, А.Е. ПЕТРЕНКО

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (alcorsci@bk.ru)

Приводятся основные вариации пирогенных трансформаций лесных экосистем в регионе. Проанализированы вековые тенденции в горимости лесов и ее основные пики в 2003, 2015 г., сопровождающиеся катастрофическими повреждениями прибрежных лесных массивов. Аномальный сток с выгоревших пространств усугубляет загрязнение воды в оз. Байкал.

FIRE INDUCED TRANSFORMATION OF FOREST ECOSYSTEMS IN CISBAIKALIA

M.D. EVDOKIMENKO, A.E. PETRENKO

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (alcorsci@bk.ru)

The main variations of pyrogenic transformations of forest ecosystems in the region are given. The one-century trends in forest fires and fires of 2003, 2015 in particular, followed by catastrophic damage to coastal forests, were analyzed. Anomalous runoff from areas affected by fire increases water pollution in the lake Baikal.

Биосферная значимость лесных экосистем в Прибайкалье как важнейшего компонента природного комплекса озера Байкал, являющегося известным объектом Всемирного природного наследия, потенциально ассоциируется с их надлежащим сбережением от экстремальных нарушений, в особенности пирогенных. Проблематичность пирогенного фактора в данном регионе обусловлена неблагоприятными природными предпосылками: специфический засушливый климат, предопределяемый предельной удаленностью территории от морей и океанов; доминирование в составе лесов пожароопасных светлохвойных насаждений.

В данном сообщении анализируются основные варианты постпирогенных трансформаций структуры и продуктивности лесных экосистем в данном регионе, включая характерные экологические последствия современных пожаров в лесах Прибайкалья. Объекты стационарного изучения последствий пожаров для лесных экосистем подобраны преимущественно в южной части горного Прибайкалья. При маршрутных исследованиях на склонах разной крутизны и экспозиции анализировались разные вариации пирогенных нарушений в лесных насаждениях, происходившие в результате обширных (ландшафтных) пожаров.

Комплекс наблюдений за лесоводственными последствиями низовых подстилочно-гумусовых пожаров проведен на постоянных ПП в смешанном сосново-лиственничном массиве на южном макросклоне хр. Б. Хамар-Дабан в Бабушкинском лесничестве (первая серия ПП – 1–5). Пожар действовал в середине мая на одном из отрогов этого хребта. Пожарище расположено на склоне крутизной 15° западной экспозиции на высоте 670 м н. у. м. Тип леса – сосняк рододендроновый брусничный с примесью лиственницы. Таксационная характеристика древостоев приведена в табл. 1.

Вторую серию ПП (6–10), отражающих последствия низовых пожаров в средневозрастных и приспевающих сосняках рододендроновых брусничных-разнотравных и осочково-разнотравных, заложили в буферной зоне Прибайкальского национального парка (Голоустненское лесничество). Эти леса пострадали от лесопирогенной аномалии 2003 г. ПП 6 и 7 (в средневозрастном древостое) расположены на шлейфе в нижней части юго-западного склона крутизной 5° на высоте 550 м н. у. м. Другая группа объектов (ПП 8–10) находится на северо-восточном склоне крутизной 15–20° на высоте 730 м н. у. м. в приспевающем древостое. При этом на ПП

10 был низовой пожар высокой интенсивности с выходом в кроны, сходный по последствиям с прошедшим на ПП 5 из Хамар-Дабанской группы объектов.

Третью серию ПП (11–13) заложили на южной оконечности хр. Б. Хамар-Дабан в кедровнике кустарничково-зеленомошном на высоте 940 м н. у. м. (Слюдянское лесничество). Расположены они в приводораздельной выположенной части склона северной экспозиции крутизной 5–6°.

Наиболее полная картина последствий крупного пожара с вариациями от слабого низового до экстремально высокой интенсивности (с локальными вспышками верхового огня) наблюдалась на южном макросклоне хр. Б. Хамар-Дабан. Неравномерность горения в подобных ситуациях обусловлена несколькими причинами. Наиболее существенными из них являются количество, качество и влажность горючих материалов, а также направление и скорость ветра. Широкое варьирование высоты нагара на древесных стволах – прямое следствие общей неравномерности горения на каждой ПП. В это же время прослеживалась зависимость обгорания деревьев от древесной породы.

Таблица 1. Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев на ПП

№ ПП	Интенсивность пожара	Состав древостоя	Возраст, лет	Класс бонитета	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота	Запас древесины, $м^3$/га
Бабушкинское лесничество (хр. Б. Хамар-Дабан) Сосняки с примесью лиственницы рододендроновые брусничные								
1	Контроль	8С2Л ед. Б	69	IV	16,.6	15,4	0,90	210
2	Слабая	7С3Л ед. Б	73	IV	16,2	15,3	0,90	210
3	Средняя	7С3Л ед. Б	73	IV	17,1	15,1	0,70	180
4	Высокая	8С2Л ед. Б	73	IV	20,5	16,5	0,30	70
5	Высокая с выходом в кроны	7С3Л ед. Б	73	IV	28,5	17,0	0,20	40
Голоустненское лесничество (хр. Приморский) Сосняки с примесью лиственницы осочково-разнотравные								
6	Контроль	4С6Л ед. Б	65	II	22,4	20,1	0,70	289
7	Средняя	5С5Л	65	II	23,3	20,5	0,68	277
Сосняки с примесью лиственницы рододендроновые бруснично-разнотравные								
8	Контроль	8С2Л ед. Б	95	III	25,4	23,1	0,88	345
9	Средняя	8С2Л+Б	95	III	24,7	22,2	0,82	323
10	Высокая	9С1Л	95	III	23,8	21,6	0,73	284
Слюдянское лесничество (хр. Б. Хамар-Дабан) Кедровники кустарничково-зеленомошные								
11	Контроль	10К ед. С, Б	120	IV	23,0	18,0	0,70	284
12	Средняя	10К ед. С, Б	120	IV	30,0	20,0	0,40	162
13	Высокая	10Кед. С, Б	120	IV	–	–	–	–

Высота нагара на деревьях при слабой интенсивности огня определяется скорее общей неравномерностью процесса горения, чем диаметром дерева. При порывах ветра нагар на тонких деревьях может быть выше, чем на крупных, оказавшихся на месте действия слабого огня при безветрии. Микрозавихрения пламенного потока, которые мы наблюдали при проведении соответствующих экспериментальных выжиганий в сосняках Центрального Забайкалья [1], возникают за толстыми стволами. Усилению горения в приствольной зоне способствуют круговые скопления горючих материалов.

Нагар на поверхности ствола дерева как показатель силы огневого воздействия на него служит внешним диагностическим признаком послепожарного состояния

конкретных особей. Чем выше нагар, тем большая часть дерева подвергалась губительному термическому воздействию. Индивидуальная реакция деревьев зависела от толщины и протяженности слоя корки на стволах, а также от общей жизнеспособности конкретных особей в момент пожара, что внешне можно было диагностировать по размерам и состоянию их крон.

На ПП 5 с низовым пожаром крайне высокой интенсивности имел место локальный переход огня в кроны, от чего они сильно обгорели и погибли. Исключение составляли крупные лиственницы. Выжившие средние по размерам, а тем более тонкие деревья данной породы подверглись пирогенной дефолиации различной степени. В результате интенсивного изреживания на ПП 4 и ПП 5 полнота и запас древостоя снизились в 2–3 раза.

Соотношение жизнеспособных и отмирающих деревьев в сосновой части древостоев, наблюдавшееся в конце второго вегетационного сезона после пожара, приведено в табл. 2.

Таблица 2. Соотношение деревьев в сосновой части древостоев

№ПП	Доля деревьев, %	
	жизнеспособных	отмирающих
2	100	–
3	85	15
4	27	73
5	6	94

В экосистемах Юго-Западного Прибайкалья (Голоустненское лесничество) установлена зависимость пирогенных нарушений от возраста насаждений. Если после низового пожара средней интенсивности отпад деревьев в 65-летнем древостое превышал норму (контроль) в 2 раза, то в старшей (95-летней) категории большая часть деревьев подобное огневое воздействие перенесла благополучно. Там отмирали в основном маложизнеспособные деревья с тонкой корой из нижнего полога. При этом из всех древесных пород, входящих в состав горевших насаждений, наиболее пострадала береза. Однако на ПП 10 с низовым пожаром высокой интенсивности послепожарное изреживание оказалось заметным. Там полнота древостоя снизилась с 0,88 до 0,73.

Отрицательное влияние пожаров на текущий прирост уцелевших деревьев обусловлено в значительной мере негативными изменениями почвенно-экологических условий. Нарушается гидротермический режим почвы. Аномальный поверхностный сток осадков на горных склонах обостряет лимитирующую роль увлажнения в районах произрастания большей части сосняков и лиственничников. По данным лесоустройства, к настоящему времени средний уровень продуктивности пирогенных древостоев на Хамар-Дабане снизился на 30–40 % от потенциально возможного [2].

В лиственничниках на многолетней мерзлоте при устойчивых пожарах подгорают корневые лапы с последующим массовым вывалом деревьев от сильных ветров. В этом отношении особенно опасны пожары на торфянистых почвах.

Рассмотренные пирогенные флуктуации лесных экосистем, особенно при затяжной дигрессии, существенно нарушают их водоохранные и средообразующие функции [1]. С учетом огромных выгоревших пространств в Прибайкалье, образовавшихся от катастрофических пожаров 2015 г., их следует считать весьма существенным фактором происходящего ныне загрязнения прибрежных вод в озере Байкал.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Евдокименко М.Д.* Лесоэкологические последствия пожаров в светлохвойных лесах Забайкалья // Экология. 2011. 3. С. 191–196.
2. *Зиганшин Р.А.* Послепожарные насаждения экологического профиля Бабушкин – Таежный на Хамар-Дабане // Пожары в лесных экосистемах Сибири. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2008. С. 127–130.

УДК: 630*431

ОЦЕНКА ПОСЛЕПОЖАРНОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ В СВЕТЛОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

С.В. ЖИЛА, Г.А. ИВАНОВА, Е.А. КУКАВСКАЯ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (zhila.sv@ksc.krasn.ru)

Ежегодно на территории Сибири возникают тысячи лесных пожаров, основная часть которых – в светлохвойных насаждениях. В связи с этим в работе была приведена количественная и качественная оценка естественного послепожарного возобновления с учетом интенсивности пожара.

ASSESSMENT OF POST-FIRE REGENERATION IN LIGHT CONIFER PLANTATIONS OF LOWER ANGARA REGION

S.V. ZHILA, G.A. IVANOVA, E.A. KUKAVSKAYA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (zhila.sv@ksc.krasn.ru)

Every year on the territory of Siberia there are thousands of forest fires, most of which occurs in light conifer plantations. In this regard, the work was carried out a quantitative and qualitative assessment of natural regeneration after fire, given the intensity of the fire.

Лесной пожар – важный экологический фактор, который оказывает влияние на лесообразовательный процесс и вносит значительный вклад в формирование и продуктивность лесных экосистем Сибири [5, 7]. В регионе, где сосредоточена значительная часть бореальных лесов, ежегодно десятки млн га леса повреждаются пожарами разной интенсивности.

Возобновление леса является важным экологическим процессом, который главным образом определяет структуру, функции лесного биогеоценоза [4]. Ранее в работах ряда российских, а также зарубежных авторов была проведена оценка особенностей естественного возобновления [3, 6, 8]. Установлено, что наибольшее воздействие пожаров проявляется в смешанных светлохвойных насаждениях в первые 5 лет после низовых пожаров за счет создающихся благоприятных условий для появления всходов [3, 5].

Исходя из изложенного, целью данной работы являлась количественная оценка естественного возобновления после воздействия низовых пожаров различной интенсивности в светлохвойных насаждениях.

Исследования проведены в сосняках и смешанных лиственничниках лишайниково-зеленомошных, репрезентативных для лесов Южной Сибири. Экспериментальные участки расположены в бассейне р. Ангара в Невонском и Хребтовском лесничествах. Южнотаежные сосняки на участках № 1 и 2 (левый берег р. Ангары) отнесены к кустарничково-лишайниково-зеленомошному типу леса. Они также пирогенного происхождения, чистые по составу и простые по строению. Древостои разновозрастные, преобладают деревья 110–220 лет. Класс бонитета – III. Подрост 10С, 20–30 тыс. шт./га. В видовом составе травяно-кустарничкового яруса доминируют *Vaccínium vítisidaéa* L., *Vaccínium myrtíllus* L., *Lédum palústre* L., проективное покрытие варьирует от 40 до 60 %. В моховом покрове преобладают *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.), в примеси *Dicranum polysetum* Sw. и *Polýtrichum commúne* Hedw. Среди лишайников доминирует *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg., *содоминирует Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot. Проективное покрытие лишайниково-мохового покрова до 100 %.

Сосняк на участке № 3 (правый берег р. Ангары) относится к бруснично-зеленомошному типу леса. Древостои одновозрастные (110 лет), представлены в

основном сосной с небольшой примесью лиственницы сибирской. Подрост 10С численностью 20–40 тыс. шт./га. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса варьирует от 30 до 70 %. Доминируют *Vaccínium vítisidaéa*, *Vaccínium myrtíllus*. В моховом покрове доминирует *Pleurozium schreberi*, содоминируют *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. и *Dicranum polysetum*, проективное покрытие до 90 %. Лишайники представлены такими видами, как *Cladonia rangiferina*, *Peltigera canina* (L.) Willd., и в основном приурочены к валежу.

Насаждение на экспериментальных участках № 4–6 относится к лиственничникам со II ярусом из темнохвойных пород мелкотравно-зеленомошной группы типов леса. Древостой сложный по структуре и составу, разновозрастный. Сомкнутость крон I яруса 0,3–0,5, II – 0,7–0,9. Верхний ярус полидоминантный, с доминированием лиственницы и сосны, средний возраст которых составляет 140 лет. В составе второго яруса преобладают пихта, ель, кедр, береза и осина, возраст которых 40–60 лет. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует таежное мелкотравье, виды лесного разнотравья, *Carex acuta* L., *Vaccínium vítisidaéa*. Общее проективное покрытие от 10 до 50 %. Общее проективное покрытие мхов – 40–80 %. В составе мохового покрова доминирует *Pleurozium schreberi, Hylocomium splendens*, в примеси *Dicranum polysetum*, а из лишайников – *Cladonia rangiferina*, произрастающая небольшими пятнами по валежу.

Общая численность подроста варьирует от 10 до 20 тыс. шт./га. Состав подроста под пологом насаждений сложный, из множества пород.

Оценка естественного возобновления и определения жизненного состояния популяций подроста проводилась по общепринятым методикам А.В. Побединского (1966) [2] и В.А. Алексеева (1989) [1].

В период с 2002 по 2007 г. на экспериментальных участках (1–4 га каждый) были проведены эксперименты по моделированию поведения пожаров, представляющие собой контролируемые выжигания.

При этом моделировалось распространение фронтальной кромки пожара. Все экспериментальные участки были пройдены низовыми пожарами. Пожары с интенсивностью до 2000 кВт/м отнесены к низкоинтенсивным, от 2001 до 4000 кВт/м – к среднеинтенсивным и более 4000 кВт/м – к высокоинтенсивным [9]. Пожары высокой интенсивности развились на участках № 2 и 4, средней – на участках № 1 и 6, низкой – на участках № 3 и 5. После пожаров на экспериментальных участках ежегодно проводили наблюдения за состоянием компонентов насаждения.

Послепожарное лесовозобновление носило циклический характер, определяемый семенными годами и плохой выживаемостью всходов. В первый год после пожаров независимо от их интенсивности появляются массовые всходы (до 180 тыс. шт./га), но в последующие годы погибает более 90 % появившихся всходов, что связано с повышением дневных температур на почвенной поверхности гари до 50 ^{o}C, недостатком влаги и увеличением конкуренции со стороны травяно-кустарничкового яруса. Выявлена прямая зависимость количества подроста от интенсивности пожара и средней глубины прогорания подстилки (коэффициенты корреляции 0,82 и 0,77 соответственно).

Наиболее успешно лесовозобновление происходит после высокоинтенсивных пожаров в светлохвойных насаждениях, где вследствие отпада деревьев (до 90 % и более) и разреживания древесного полога создаются более благоприятные условия для появления и роста всходов. Так, через 5–6 лет после пожаров численность подроста на экспериментальных участках составила от 31 до 194 тыс. шт./га (табл. 1).

В ходе исследований смешанных насаждений с преобладанием лиственницы установлено, что уже на 3-й год после пирогенного воздействия количество

естественного возобновления в разы превысило допожарные значения независимо от интенсивности экспериментальных пожаров. Выявлена тесная связь количества самосева и подроста с продолжительностью периода после воздействия пожара, которая характерна и для южнотаежных сосняков и лиственничников и особенно четко выражена после высокоинтенсивного пожара.

Таблица 1. Характеристика естественного возобновления под пологом

№ уч-ка	Интенсивность пожара	Численность, тыс. шт./га	Встречаемость, %	Обилие, шт./м^2	Характеристика размещения
Южнотаежные сосняки					
1	средняя	75,8	100	6,88	групповое
2	высокая	123,8	86	9,77	групповое
3	низкая	161,4	84	21,8	групповое
Южнотаежные смешанные лиственничники					
4	высокая	105,5	32	4,0	одиночное
5	низкая	31,7	80	11,75	групповое
6	средняя	194,3	84	38,86	групповое

После низкоинтенсивных пожаров формирование жизнеспособного подроста в сосняках происходит на протяжении более длительного периода – это обусловлено влиянием сохранившегося древесного полога.

Проведены оценка и мониторинг структуры и динамики численности, роста и жизнеспособности естественного возобновления после воздействия пожаров. Установлено, что на начальном этапе послепожарной сукцессии численность самосева и подроста определяется интенсивностью пожара и давностью пирогенного воздействия. При этом в сосняках возобновление проходит без смены пород с удовлетворительными показателями. Данные исследования необходимы для создания комплекса мероприятий по воспроизводству, а также повышения продуктивности лесных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. 4. С. 51–57.
2. *Побединский А.В.* Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 63 с.
3. *Санников С.Н.* Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
4. *Естественное* лесовозобновление в Западной Сибири. Эколого-географический очерк / С.Н. Санников, Н.С. Санникова, И.В. Петрова. Екатеринбург, 2004. 198 с.
5. *Седых В.Н.* Лесообразовательный процесс. Новосибирск: Наука, 2009. 264с
6. *Фуряев В.В.* Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
7. *Цветков П.А.* Лесовозобновительная роль пожаров в северотаежных лиственичниках Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 1996. 1. С. 61–66.
8. *Цветков П.А.* Влияние пожаров на начальный этап лесообразования в среднетаежных сосняках Сибири / Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 30. 1, 2. С. 15–21.
9. *McRae D.J., Conard S.G., Ivanova G.A.* Variability of Fire Behavior Fire Effects and Emissions in Scotch Pine Forests of Central Siberia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. 11 (1): 45–74.

УДК 630*187:582.475:551.584.4

ОБМЕН ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И ВЛАГИ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

С.В. ЗАГИРОВА, О.А. МИХАЙЛОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия (zagirova@ib.komisc.ru)

Потоки диоксида углерода и влаги измеряли методом микровихревых пульсаций в еловом и сосновом насаждениях на Европейском Северо-Востоке России. Установлено, что в теплый период года лесные экосистемы выполняли функцию стока углерода, однако суммарный нетто-обмен CO_2 и суммарная эвапотранспирация за период наблюдений в еловом насаждении были значительно выше.

CARBON DIOXIDE AND WATER VAPOUR EXCHANGE IN BOREAL FOREST ECOSYSTEMS IN SNOW FREE TIME OF THE YEAR

S.V. ZAGIROVA, O.A. MIKHAILOV

Institute of biology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia (zagirova@ib.komisc.ru)

Carbon dioxide and water vapour exchange were measured by using eddy-covariance equipment in spruce and pine forests in the European North-East of Russia. In the snow free time of the year, forest ecosystems functioned as carbon sink, but the ecosystem net exchange CO_2 and evapotranspiration in spruce forest were significantly higher than in pine stand.

Климатические факторы определяют скорость обмена вещества и энергии в наземных экосистемах. В свою очередь экосистема воздействует на теплообмен и концентрацию парниковых газов в приземном слое атмосферы. Реакция экосистемных функций таежных лесов на климатические изменения зависит от состава и структуры древостоя, возраста и состояния деревьев, а также почвенных условий. В работе представлены результаты измерений обмена CO_2 и влаги между лесом и атмосферой в сосновом и еловом насаждениях на Европейском Северо-Востоке России. Исследования направлены на сравнение суточного и сезонного хода обмена CO_2 и влаги и выявление связи между стоком диоксида углерода и суммарным испарением в двух типах лесных экосистем, различающихся по структуре растительного и почвенного покрова.

Вертикальные потоки диоксида углерода и влаги измеряли методом микровихревых пульсаций в еловом насаждении на территории заказника «Ляльский» (62°16′ с. ш., 50°41′ в. д.), расположенного в 80 км от г. Сыктывкара, и на территории Якшинского участкового лесничества Печоро-Илычского заповедника (61°49′ с. ш., 56°52′ в. д.). Расстояние между объектами составляет около 300 км. На территории заказника «Ляльский» в радиусе действия измерительной системы развиваются ельники черничного ряда, в составе древостоев преобладает *Picea obovata* Ledeb., деревья ели в возрасте 90–170 лет, их средняя высота – 18 м [1]. На территории Печоро-Илычского заповедника измерительная система установлена в сосняке брусничнолишайниковом, древостой образован *Pinus sylvestris* L. в возрасте 70–320 лет, средняя высота – 14 м [2].

Измерительная система включала ультразвуковой анемометр (Wind Master, Gill Instruments Ltd, США) и инфракрасные газоанализаторы открытого типа (EC-150, Campbell Scientific Inc., США) в ельнике и закрытого типа (EC-100, Campbell Scientific Inc., США) в сосняке. Измерения потоков CO_2 (F_{CO2}), радиационного баланса (R_n), затрат тепла на испарение влаги (LE) и турбулентный теплообмен (H) проводили в ельнике на высоте 30 м, в сосняке – в 22 м от поверхности земли. Датчики температуры и объемного содержания влаги в почве были установлены на глубине 20 см.

Регистрация данных происходила с частотой 20 Гц, их обработку производили в программном обеспечении LoggerNet (Campbell Scientific Inc., США) в соответствии с общепринятыми методами статистической обработки. В работе представлены результаты анализа 2900 точек 30-минутных измерений для ельника и 3130 точек для сосняка, полученных с 26 июня по 31 августа 2013 г. (67 дней), в период устойчивой работы оборудования.

Рассчитанный поток диоксида углерода F_{CO2} эквивалентен нетто-обмену CO_2 (*NEE*), который представляет сумму двух разнонаправленных процессов – гросс-фотосинтеза (P_{gross}) и дыхания экосистемы (R_{eco}). Дыхание экосистемы рассчитывали с использованием уравнения зависимости *NEE* от температуры воздуха (T_a) в ночное время суток.

В июне – августе 2013 г. на Европейском Северо-Востоке России сохранялась умеренно теплая погода со среднемесячными температурами, превышающими на 1–3 ºС средние многолетние значения, и незначительным дефицитом осадков. Сумма выпавших осадков с 1 июня по 31 августа составила в Сыктывкаре 106 мм, а в Троицко-Печерске – 116 мм.

Еловое и сосновое насаждения характеризовались близкими значениями температуры над пологом леса и различались существенно по температуре и содержанию влаги в почве. В сосняке альбедо было выше, чем в ельнике, что могло быть обусловлено повышенной отражающей способностью крон сосны и лишайникового напочвенного покрова. Соответственно, в сосновом лесу снижались среднесуточные значения радиационного баланса (*Rn*). Отношение *LE/Rn* в период наблюдений варьировало в ельнике от 30 до 90 %, а в сосняке – от 20 до 60 %.

Исследованные насаждения заметно различались по скорости экосистемного нетто-обмена CO_2 в течение всего периода наблюдений. Среднесуточные значения *NEE* в экосистеме ельника составили от -0,6 до +0,2 , а в сосняке – от -0,13 до +0,1 мкмоль/(м^2 сек). В первой половине июля при благоприятных погодных условиях суммарная величина *NEE* достигала в ельнике 15,4 мг/(м^2 сут), а в сосняке – 6,9 мг/(м^2 сут). Среднесуточные значения экосистемного дыхания и гросс-фотосинтеза в еловом насаждении также было заметно выше, однако отношение R_{eco}/P_{gross} было сходным и составило в летний период 0,62–0,82 в ельнике и 0,53–0,76 в сосняке.

В течение сезона ельник характеризовался более высоким запасом влаги в почве, соответственно, при близкой сумме осадков в летний период еловый фитоценоз был обеспечен влагой лучше, чем сосновый. Поэтому суммарная эвапотранспирация (*ET*) за период наблюдений в ельнике составила 158 мм, в сосняке – 86 мм. Среднесуточное значение эффективности использования воды на продукцию органического вещества (*WUE*) в июне – начале августа в экосистемах соответствовало в сосновом насаждении 2,7–3,1 г С / кг H_2O, в еловом – 3,1–4,1 г С/ кг H_2O. Во второй половине августа после обильных осадков в ельнике *WUE* снизился до 1,8 г С/ кг H_2O. В исследованных экосистемах выявлена тесная связь среднесуточных значений *ET* и *NEE*, что подтверждает существующую гипотезу об устьичной регуляции процессов обмена CO_2 и влаги, основных физиологических процессов, обеспечивающих продукцию органического вещества в лесных фитоценозах.

Полученные результаты анализа измерений вертикальных потоков диоксида углерода и влаги между лесом и атмосферой в ельнике и сосняке европейской тайги согласуются с исследованиями бореальных лесов других регионов методом микровихревых пульсаций [3, 4, 5]. Установленные нами различия экосистемного обмена диоксида углерода и влаги в двух типах леса подтверждают гипотезу о влиянии характера подстилающей поверхности на климат приземного слоя атмосферы, что важно учитывать при оценке углеродного цикла и водного баланса для крупных

таежных ландшафтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Коренные* еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
2. *Углерод* в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Сыктывкар, 2014. 202 с.
3. *Чебакова Н.М., Выгодская Н.Н., Арнет А. и др.* Энерго- и массообмен и продуктивность основных экосистем Сибири (по результатам измерений методом турбулентных пульсаций). 2. Углеродный обмен и продуктивность // Известия РАН. Сер. биологическая. 2014. 1. С. 65–75.
4. *Brummer Ch., T. Black A., Jassal R. et al.* How climate and vegetation type influence evapotranspiration and water use efficiency in Canadian forest, peatland and grassland ecosystems // Agricultural and Forest Meteorology. 2012. 153: 14–30.
5. *Luyssaert S., Schulze E.-D., Börner A. et al.* Old-growth forests as global carbon sinks // Nature. 2008. 455: 213–215.

УДК 581.5+58.02

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА В ПРИБАЙКАЛЬСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ КЕДРА СИБИРСКОГО

Р.А. ЗИГАНШИН[1], С.В. СМОЛИН[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (kedr@ksc.krasn.ru)
[2] Национальный парк «Тункинский» Минприроды и экологии РФ, Республика Бурятия, Россия (tnpark@mail.ru)

Рассматриваются последствия и возможные причины катастрофического состояния кедровников в национальном парке «Тункинский». Предлагаются неотложные мероприятия по устранению последствий.

ENVIRONMENTAL DISASTER IN CIS-BAIKAL POPULATION OF THE SIBERIAN STONE PINE

R.A. ZIGANSHIN[1], S.V. SMOLIN[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia (kedr@ksc.krasn.ru)
[2] Tunkinskiy National Park, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Buryat Republic, Russia (tnpark@mail.ru)

The consequences and possible causes of the catastrophic state of the Siberian stone pine forests in the Tunkinsky National Park are considered. Immediate remedial actions are suggested.

В связи с создавшейся неблагоприятной обстановкой в кедровых лесах национального парка «Тункинский» (Республика Бурятия) по инициативе дирекции парка (директор В.Е. Гулгонов и главный лесничий С.В. Смолин) решено было в содружестве с сотрудниками Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН обследовать в 2018 г. доступные для наземного транспорта очаги поражения деревьев кедра патогенными микроорганизмами. В очагах поражения кедра в низкогорье и в среднегорье брались образцы на дальнейший микробиологический анализ. Сама болезнь получила название бактериальной водянки и еще недостаточно изучена даже в мировом масштабе. Кроме того, на пробных площадях изучалось современное санитарное состояние древостоев в целом, для чего при перечете деревьев отмечалось их физиологическое состояние.

Ключевое значение в ареале кедра сибирского имеет территория государственного национального парка «Тункинский» в Республике Бурятия. Начиная присутствовать у подножия хребта в составе смешанных лесов низкогорья, кедр здесь становится главной породой в составе лиственнично-кедровых лесов (с участием березы) среднегорья, а затем на высотах от 1100 м и выше – безраздельным властелином лесов высокогорья. На многие километры, насколько видит глаз с вертолета, по склонам хребтов, на водоразделах и в лощинах разливается море кедровой тайги. В настоящее время эта тайга попала под угрозу полного уничтожения. Что касается выполнения наших полевых работ лета – осени 2018 г., то они оказались возможными только благодаря бесценной помощи сотрудников национального парка, которые иногда с риском для жизни, по разрушенным дорогам доставляли нас в необходимые для исследования лесные массивы, а также помогали в сборе образцов и участвовали в перечетах деревьев на двух пробных площадях.

Возраст старших деревьев кедра на пробных площадях (ПП) – около 120 лет. Это относительно молодые для кедровников древостои. Младшие поколения кедра – в возрасте 40–70 лет. На ПП № 1 в Аршанском лесничестве парка встречены только единичные деревья ступени 28 см (ряд распределения деревьев по толщине короткий), и все деревья этой ступени толщины усохли, за исключением единственного дерева.

Усохшие деревья существенно преобладают и в ступенях 20 и 24 см. Это говорит о том, что все старшие деревья много лет подвергались колотобою и поэтому были существенно ослаблены, в результате чего поддались неблагоприятному влиянию всего остального комплекса неблагоприятных факторов (позже скажем, каких именно). Среди молодых деревьев (до 70 лет) ступеней от 4 до 12 см, которые не были колочены, число усохших небольшое. Ступень 16 см по всем показателям является переходной. О решающем отрицательном значении орехопромысла говорит и то, что среди деревьев сопутствующих в данном насаждении пород – лиственницы и березы – встречаются лишь единичные погибшие экземпляры, причем совершенно нет усохших деревьев в высоких ступенях толщины (24 см и выше). В целом сухих деревьев по лиственнице всего 3,7 %, по березе – 3,8 % (это всего одно дерево ввиду малочисленности березы). По кедру же сухих деревьев 36,7 %, а полусухих – 7,9 %, т. е. погибших и погибающих деревьев в общей сложности 44,6 % (вместе с остолопами это близко к половине числа деревьев кедра). Несколько более мягкая, но тоже достаточно тревожная картина на ПП № 2 в Зун-Муринском лесничестве. Здесь по кедру в ступенях от 20 см и выше процент сухих и полусухих деревьев очень высок: от 29 % до 80 % в разных ступенях толщины. И даже в ступенях 8 и 12 см число сухих деревьев велико, соответственно 23 % и 33 %. Общий процент погибших и погибающих деревьев в целом по древостою кедра составляет 36,9 %. По-видимому, большую в сравнении с кедровником на ПП № 1 жизнеустойчивость кедра пробной площади № 2 обеспечили более благоприятные экологические условия роста. Что касается сопутствующих пород, то по лиственнице очень мало сухих деревьев, они в основном находятся в области тонкомера (4–10 см) и сохнут только из-за угнетения высокорослыми деревьями кедра. Общее же число сухих и полусухих деревьев лиственницы – всего 5 из 70 деревьев (7 %). Береза в этом насаждении вся тонкомерная, и погибших деревьев нет. Расчеты запасов по древесным породам раздельно для здоровой части деревьев и для погибших показали, что на обоих пробных площадях запасы погибших деревьев выше, чем здоровых.

Итак, закладка таксационных пробных площадей в условиях среднегорья показала, что процессы ослабления физиологической устойчивости кедровых древостоев двигают санитарное состояние кедровников в ту же сторону, что и в высокогорье. В отдельно взятых насаждениях число усохших деревьев достигло половины и более общего их числа в древостоях. Тем более значительны потери в запасах древостоев, поскольку наиболее крупные деревья старших возрастов гибнут в первую очередь. Здесь, несомненно, проявилась отрицательная роль многолетнего орехопромысла в кедровниках. Все деревья от 16–20 см в диаметре (а тем более крупные деревья) имеют колотовые раны, которые являются основной причиной и первоосновой в длинной цепи дальнейших ослаблений кедровых деревьев. Значительно большая сохранность других древесных пород в этих же насаждениях подтверждает, что большую опасность для кедра представляет традиционная неправильная технология орехопромысла. Необходимы запрет механических способов стряхивания шишек и, наоборот, культивирование сбора опавших шишек. Разумеется, здесь возникнет конкуренция со стороны мышевидных грызунов, бурундуков и медведей, но при разумной организации орехосбора орехов хватит всем, а кедровые древостои станут регулярно плодоносящими и долговечными. Очень велики в дальнейшем будут роль лесной охраны и участие силовых структур. Необходим строгий контроль за всеми лесными дорогами, а прорвавшихся обходными путями в тайгу шишкарей придется отслеживать с помощью различных летательных аппаратов и в первую очередь с помощью недорогостоящих беспилотников, на которые, кроме оптической аппаратуры, необходимо устанавливать и звукозаписывающую аппаратуру.

Разумеется, имеются и другие причины, приводящие к ослаблению кедровников.

Одной из главных является постоянное многолетнее отравление фотосинтетического аппарата деревьев воздушными выбросами промышленных предприятий Иркутско-Черемховского и отчасти Бурятского промузлов. Совсем недавно выведен из эксплуатации один из главных загрязнителей – Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат, в выбросах которого была широкая гамма опасных химических веществ: окись серы, сульфиды и дисульфид, скипидар, сероводород, меркаптаны, азотные и кислородосодержащие органические соединения, канифоль, хлор, диоксид хлора, ртуть, скипидар, метиловый спирт, жирные кислоты и другие. Но продолжают работу Шелиховский алюминиевый завод с огромными выбросами фтора и Саянский химический завод, обогащающий воздух не менее опасным хлором. Оба предприятия вследствие имеющейся розы ветров как раз загрязняют воздушные потоки, идущие с запада на Хамар-Дабан и Тункинский хребет. Совсем недавно на Саянском химзаводе произошла крупная технологическая авария с большим выбросом хлора. В 1980-е годы нам доводилось изучать отрицательное воздействие промышленных предприятий на пихтовые леса северного прибайкальского макросклона Хамар-Дабана [1, 2].

Если выстроить цепочку экологически неблагоприятных для кедровых лесов Прибайкалья факторов, то в хронологическом порядке получается следующая последовательность: орехопромысел – промвыбросы – грибные заболевания кроны и стволов – стволовые энтомовредители – флуктуации климатических условий (усиление засушливости в последние годы) – патогенные микроорганизмы. Именно последние выступают в заключительной фазе вредных воздействий на леса и добивают уже в значительной степени ослабленные кедровники. Поскольку леса Прибайкалья уже сравнительно давно (с 1950–60-х годов) подвергаются воздействию вредных химических эмиссий промпредприятий, то как при наземных работах, так и при аэровизуальных обследованиях наблюдаются разные стадии поражения и распада древостоев. В этом году в бассейне р. Зун-Мурин при проведенном нами аэровизуальном обследовании наблюдались отдельные урочища, в которых кедры полностью потеряли крону. На месте стоят полностью оголенные стволы, хотя большая часть лесного массива в бассейне этой реки еще характеризуется сохранившимися на деревьях сухими кронами.

Что ждет погибающие леса в будущем? Здесь на первое место выходит морфологическая структура в виде элементов ландшафта в ранге географических фаций и урочищ. В более теплых местоположениях (лучше инсолируемые южные и западные румбы склонов, днища ручьев с достаточной влагой) наблюдается достаточное количество вполне жизнеспособного подроста, и здесь можно надеяться на естественное восстановление кедровников через 80–100 лет, а в затененных и переувлажненных местоположениях с мощной моховой подушкой потребуются лесокультурные мероприятия, причем не только содействие естественному возобновлению (деревьев-семенников-то не сохранилось), но прежде всего создание лесных культур мелкоконтурными биогруппами кедровых саженцев [3]. Следовательно, в национальном парке необходимо создать питомник для выращивания 3–5-летних саженцев кедра и сформировать на постоянной основе лесокультурную бригаду, одну или несколько. Для сохранения естественного возобновления и лесных культур необходимо озаботиться развертыванием крупномасштабных противопожарных мероприятий. Стоящий на корню сухой лес, тем более на огромных территориях в сотни тысяч гектаров, имеющий высочайшую лесопожарную опасность, должен быть в неотложном порядке изъят из высокогорной тайги и доставлен в Тункинскую долину для переработки на возможные виды продукции. Следовательно, должна быть сформирована национальная программа по спасению лесов Хамар-Дабана, для чего необходимо за федеральный счет построить горные лесовозные

дороги, которые, что очень важно, будут использоваться и для лесокультурных целей. Борьба за сохранение лесов по плечу только высокоорганизованному и справедливому государству. За государственный же счет на территории национального парка, в долине должно быть построено мощное лесоперерабатывающее предприятие (на которое требуется уже специально не допускать частников, иначе они быстро превратятся в воров). Одновременно с выполнением этой грандиозной программы значительная часть жителей Тункинского района будет трудоустроена, но обязательно параллельно должна развиваться и аграрная программа на сельскохозяйственных землях, иначе, отучив народ от работы на земле, вернуть его туда будет сложно. К текущим задачам противопожарной охраны лесов следует отнести усиленное авиапатрулирование и выполнение профилактических противопожарных мероприятий, часть из которых обоснована в нашей недавней статье [4]. Необходимо усилить контроль за работой промышленных предприятий и за пределами Тункинского национального парка, установив тесное сотрудничество со специалистами и службами соответствующего профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1 *Зиганшин Р.А.* Оценка загрязнения атмосферы в зоне влияния Байкальского целлюлозно-бумажного комбината // Исследование природы Таймыра. Вып. 2. Красноярск: Восточно-Сибирский филиал Международного института леса, 2002. С. 186–191.

2. *Зиганшин Р.А.* Состояние крон пихты сибирской в районе промышленного загрязнения на хребте Хамар-Дабан в Южном Прибайкалье //Лесоведение. 2008. 2. С. 13–20.

3. *Зиганшин Р.А., Смолин С.В., Соколова Н.В.* К вопросу восстановления кедровников в горных лесах Сибири // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы третьей междунар. науч.-техн. конф., 23–24 мая 2018 г., Санкт-Петербург. СПбГЛТУ, 2018. С. 128–130.

4. *Зиганшин Р.А., Смолин С.В.* Вопросы профилактики и тушения лесных пожаров в национальном парке «Тункинский» // FOREST ENGINEERING. Науч. издание. Материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием, 30–31 мая 2018 г., Якутск. Якутск: ЯГСХА, 2018. С. 94–97.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы признательны В.Е. Гулгонову за помощь в организации полевых исследований.

УДК 574.47:581.552:58.051:631.421.1:581.524.441:630*43:630*182.47/.48

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ СТРУКТУРНОГО РАЗНООБРАЗИЯ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

О.А. ЗЫРЯНОВА[1], С.Г. ПРОКУШКИН[1], В.И. ЗЫРЯНОВ[1], Ю. МАЦУУРА[2], Т. МОРИСИТА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (zyryanova-oa@ksc.krasn.ru)
[2] Институт лесоводства и лесных продуктов, Цукуба, Япония (orijoy@ffpri.affrc.go.jp)

Рассматривается влияние фитогенных полей здоровых и ослабленных низовым пожаром деревьев лиственницы Гмелина на процессы послепожарного восстановления растительного сообщества, выясняется роль пространственной структуры лишайниково-мохового покрова коренных лиственничников в оценке почвенной эмиссии CO_2.

FUNCTIONAL ROLE OF STRUCTURAL DIVERSITY IN NORTHERN TAIGA LARCH ECOSYSTEMS OF CENTRAL SIBERIA

O.A. ZYRYANOVA[1], S.G. PROKUSHKIN[1], V.I. ZYRYANOV[1], Y. MATSUURA[2], T. MORISHITA[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (zyryanova-oa@ksc.krasn.ru)
[2] Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba, Japan (orijoy@ffpri.affrc.go.jp)

The influence of the phytogenous fields arising around alive, weakened and dead larch trees remaining on the burnt area after ground fire on the postfire regeneration of plant community is considered. A role of lichen-moss cover spatial structure on the estimation of CO_2 efflux in intact larch ecosystems is established.

Структурное разнообразие, наряду с композиционным и функциональным, является характеристикой всех уровней биологического разнообразия: генетического, видового, экосистемного [7]. По определению, структурное разнообразие – это разнообразие вариантов организации отдельных элементов (видов) в структурные (функциональные) единицы биоценозов. Структурные единицы растительных сообществ являются наиболее легко распознаваемыми. К ним относятся ярусы, ценоэлементы, микроценозы или микроассоциации, синузии, фитогенные поля, консорции и другие внутриценотические единицы.

Северотаежные лиственничники, растущие в условиях близко залегающей многолетней мерзлоты, характеризуются редкостойностью и сильной разреженностью древесного полога, в котором деревья имеют слаборазвитые кроны и усыхающие вершины стволов. Указанные особенности приводят к резкому падению в этих сообществах эдификаторной роли древостоев и ослаблению ценотических взаимодействий в целом [2, 5]. Как «работают» в такой ситуации различные структурные единицы лиственничных фитоценозов? Мы попытались оценить эдификаторную роль деревьев лиственницы Гмелина в процессе послепожарного восстановления растительных сообществ и выяснить роль пространственной структуры лишайниково-мохового покрова коренных лиственничников в оценке почвенной эмиссии CO_2. Поставленные задачи актуальны вследствие важной роли, которую лиственничные леса криолитозоны Сибири играют в регуляции глобальных биосферных процессов [8, 9 и др.].

Исследования проводились на постоянных пробных площадях, заложенных в коренных лиственничниках (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) и на гари модельного ключевого участка Эвенкийского ОЭП Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (п. Тура, 64°12′ с. ш., 100°27′ в. д.).

Выяснение роли сохранившихся после пожара деревьев лиственницы с разным жизненным статусом в возобновлении вида-эдификатора и восстановлении живого напочвенного покрова проводилось при изучении их фитогенных полей [6]. Объектами исследования были три живых дерева разного жизненного состояния (Ж1, Ж2, Ж3),

определяемого по методу В.А. Алексеева [1], и два сухостойных (М1, М2), отмерших в разное время после пожара.

Установлено, что сохранившиеся на гари деревья лиственницы допожарной генерации играют важную роль в возобновлении вида-эдификатора. Влияние фитогенного поля отдельных деревьев на возобновление лиственницы на гари прослеживается уже на следующий год после пожара. Так, у живых деревьев минимальное число живых всходов наблюдается в 2–3 м от ствола – зоне максимальной концентрации физиологически активных корней лиственницы [3], у отмерших деревьев число всходов в этой зоне, наоборот, максимально. Число погибших всходов всегда больше в пределах фитогенных полей живых деревьев.

Через 10 лет после пожара распределение самосева лиственницы также определяется жизненным состоянием сохранившихся деревьев. У отмерших лиственниц максимальная его численность наблюдается на расстоянии 0,6–0,9 м от ствола (41–44 экз. $м^{-2}$), затем его густота резко снижается. Сходным образом распределяется самосев и вокруг сильно ослабленного дерева (Ж3), что является показателем ослабления конкуренции в его фитогенном поле. В то же время у здорового дерева (Ж1) на расстоянии 0,3–1,5 м наблюдается минимальное количество самосева с тенденцией к его увеличению при удалении от ствола. Низкая густота лиственничного подроста около этого дерева является следствием его сильного влияния на окружающую среду. Взрослые, нормально функционирующие деревья препятствуют внедрению самосева во внутреннюю зону своего фитогенного поля. Индикатором границы между внутренней и внешней частями фитогенного поля лиственниц является изменение числа видов растений напочвенного покрова при удалении от ствола дерева. Для живых деревьев оно составляет 0,9–1,5 м от ствола, что примерно соответствует проекции кроны, для отмерших – всего 0,6 м. Скачки численности самосева на расстояниях 2,7 м от ствола у сильно ослабленного дерева Ж3 и 3,3 м у здорового дерева Ж1 позволяют считать, что здесь заканчивается влияние фитогенных полей этих лиственниц. На этих же расстояниях изменяются встречаемость и жизненность видов растений травяно-кустарничкового яруса [4].

В целом в изучаемом районе микрогруппировки лиственничного подроста вокруг живых деревьев через 10 лет после пожара охватывают зону на расстоянии от 0,5 м до 8–9 м от их стволов, приближаясь к ним со стороны ослабленных и отмерших скелетных корней. У отмерших деревьев эта граница определяется временем их гибели: она либо примыкает вплотную к дереву, отмершему сразу после пожара (М2), либо находится на расстоянии 0,1–0,75 м от дерева, погибшего через 5–7 лет после пожара (М1). Полученные данные свидетельствуют о значительной роли жизненного состояния деревьев в проявлении внутривидовой конкуренции между пережившими низовой пожар, но получившими различные повреждения лиственницами, и формирующейся микрогруппировкой ее самосева.

Живые лиственницы, сохраняющиеся после пожаров, благодаря своему фитогенному полю формируют микрогруппировки подроста, определяя их хорологию на гари. Отмершие же деревья лиственницы почти не влияют на восстановление фитоценоза. Таким образом, лиственница допожарной генерации на гари остается ведущим эдификатором в ходе начального этапа восстановления пирогенного лесного фитоценоза.

Развивающиеся вокруг жизнеспособных деревьев зеленомошные микрогруппировки, в которых ведущая роль принадлежит видам растений допожарного сообщества (*Duschekia fruticosa*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Aulacomnium turgidum*, *Pleurozium schreberi*), являются «островками» восстановления после пожара исходной растительности нижних ярусов, существенно

ускоряя демутационный процесс в северотаежных лиственничниках [4].

Пространственная структура лишайниково-мохового покрова северотаежных лиственничников формируется тремя микроассоциациями с доминированием *Pleurozium schreberi, Cladonia stellaris, Aulacomnium turgidum.* Плевроциум образует микроассоциации в умеренно теплых и влажных микробиотопах. Сходные, но более теплые биотопы занимает лишайниковая микроассоциация. Психро- и гигрофильный аулакомниум формирует микроассоциацию, которая приурочена к переувлажненным микротермным депрессиям рельефа. Микроассоциации различаются по интенсивности почвенной эмиссии CO_2, а также являются основой для классификации северных лесных сообществ.

По соотношению процентных долей площадей микроассоциаций в экосистемах все многообразие лиственничников модельного ключевого участка разделено на 7 типов и 3 группы типов, различающихся по интенсивности почвенной эмиссии углерода. Эмиссия углерода модельным ключевым участком (1539 га), рассчитанная для синтаксонов рангов отдельных фитоценозов–типов фитоценозов–групп типов, составила 1741, 1694 и 1681 т углерода соответственно. Наиболее точным является определение эмиссии, проведенное для отдельных лиственничных фитоценозов по формулам структуры лишайниково-мохового покрова. Объединение фитоценозов в типы и группы типов приводит к занижению суммарных оценок и потерям 2,7–3,5 % от итогового количества углерода в «сухой» вегетационный сезон, что в абсолютном выражении составляет 47–60 т с 1539 га. Для северотаежных лиственничников эвенкийского сектора криолитозоны (30 000 тыс. га) недоучет может составить около одного миллиона тонн углерода только за один вегетационный сезон.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. 4. С. 51–57.
2. *Норин Б.Н.* Проблема лесотундры и задачи ее комплексного стационарного изучения // Проблемы Севера. Вып. 8. М. –Л., 1964. С. 58–66.
3. *Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Прокушкин А.С.* Структурно-физиологические особенности лиственницы Гмелина в криолитозоне Центральной Эвенкии. Красноярск: Институт леса СО РАН, 2008. 161 с.
4. *Прокушкин С.Г., Зырянова О.А*. О влиянии деревьев лиственницы Гмелина на послепожарное восстановление лесного фитоценоза в криолитозоне Средней Сибири // Сиб. экол. ж. 2013. 5. С. 645–652.
5. *Сочава В.Б.* Тайга на северо-востоке Среднесибирского плоскогорья // Ботан. журн. 1957. Т. 42. 9. С. 1408–1415.
6. *Уранов А.А.* Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники. Т. 1. М.–Л.: Наука, 1965. С. 251–254.
7. [Электронный ресурс.] URL: http://www.oklaenvirothon.org/pdfs/wildlife/biodiversity.pdf.
8. *Permafrost ecosystems*: Siberian larch forests. A. Osawa, O.A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R.W. Wein, eds. Ecological studies 209. Dordrecht Heidelberg London New York: Springer, 2010. [Электронный ресурс.] URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9693-8.
9. *Raupach M.R., Canadell J.G.* Observing a vulnerable carbon cycle // The continental-scale greenhouse gas balance of Europe. Dolman H., Valentini R., Freibauer A., eds. Berlin: Springer, 2008. P. 5–32.

УДК 630*439

ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ОТ ГРОЗ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ

В.А. ИВАНОВ[1], Е.И. ПОНОМАРЕВ[2], П.И. АМИНЕВ[1]

[1] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (ivanovv53@yandex.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

Представлена методика сравнительной оценки опасности возникновения лесных пожаров от гроз, позволяющая оценить риски возникновения пожаров от молний на ограниченных лесных территориях Сибири и дифференцировать территорию лесничеств по степени природной опасности возникновения пожаров от гроз.

ESTIMATION OF RISK OF THE FOREST FIRES FROM LIGHTNING STORM ON TERRITORY OF SIBERIA

V.A. IVANOV[1], E.I. PONOMAREV[2], P.I. AMINEV[1]

[1] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia (ivanovv53@yandex.ru)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

A method of comparative assessment of the risk of forest fires from lightning storms is presented, which allows to assess the risks of lightning fires in the limited forest areas of Siberia and to differentiate the territory of forestry according to the degree of natural danger of fires from lightning storms.

Наибольший ущерб лесному хозяйству причиняется в результате проявления специфического отраслевого риска – возникновения лесного пожара. Проявление данного риска оказывает отрицательное воздействие на способность лесов выполнять экономические, экологические и социальные функции. Управление пожарными рисками в лесном хозяйстве является одной из важнейших государственных задач [4].

Управление пожарным риском представляет собой комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленных на снижение и предупреждение потенциальных или уже существующих потерь от риска. Одним из условий повышения уровня охраны лесов от пожаров является установление характера и возможных закономерностей в распределении пожаров во времени и пространстве и выявление основных причин их возникновения.

На территории Сибири ежегодно возникают тысячи лесных пожаров. Например, в Красноярском крае в 2018 году зарегистрировано 1639 лесных пожаров на площади свыше 1,5 млн га. При этом пожары от гроз составляют в среднем 15 %, а в некоторых районах могут достигать 40 % от общего количества. Для улучшения охраны лесов от пожаров необходима сравнительная оценка рисков возникновения лесных пожаров от гроз на той или иной части территории. Это позволяет дифференцировать мероприятия по предупреждению, обнаружению и тушению лесных пожаров, а также прогнозировать возможные причины загорания в лесничествах и заповедниках. Кроме того, это дает возможность рационально размещать грозопеленгаторы для своевременного обнаружения пожаров от молний.

В настоящее время для определения и прогнозирования пожарной опасности в лесу разработаны методики, которые позволяют оценить текущую пожарную опасность и дают представление о возможности возникновения пожаров во времени и пространстве. Имеются также методики, позволяющие оценивать пожарную опасность по наличию источников огня [5]. Но до сих пор в России не существует методики по

оценке и прогнозированию возможности возникновения лесных пожаров от гроз на ограниченных территориях.

В данной работе представлена методика сравнительной оценки опасности возникновения лесных пожаров от гроз на примере лесничеств Красноярского края, которая позволяет оценить природную пожарную опасность возникновения пожаров от гроз на ограниченных лесных территориях на основе анализа стандартизированных величин.

На основе проведенных нами исследований [3] установлено, что на возможность возникновения лесных пожаров от гроз на ограниченных лесных территориях наибольшее значение оказывают такие факторы, как средняя продолжительность гроз, число месяцев в году с грозой, географическая широта территории, площадь, лесистость территории, средний класс природной пожарной опасности, преобладающий гранулометрический состав почв.

В качестве рассматриваемой ограниченной территории мы приняли площадь лесничества. Первые пять факторов показывают возможное количество природных источников огня (разрядов молнии в землю) на территории лесничества. Шестой фактор оценивает состояние комплекса лесных горючих материалов, способность его к загоранию и продолжительность возможного возникновения и распространения горения в пожароопасный сезон. Седьмой фактор оценивает продолжительность воздействия разряда молнии на горючий материал.

Средняя многолетняя продолжительность гроз на территории Красноярского края увеличивается с севера на юг (от 9 часов в год на севере до 84 часов на юге). При 20–40-часовой продолжительности грозовой деятельности среднее число ударов молнии в год на 1 км^2 поверхности Земли равно трем, а при 60–80 часах грозовой деятельности – девяти. Число месяцев с грозой в году дает представление о том, в течение какого времени природные источники огня могут появляться на рассматриваемой территории в пожароопасный сезон

Установлено, что с продвижением с юга на север доля молниевых разрядов, ударяющих в землю, возрастает. От географической широты также зависят сроки наступления и окончания пожароопасного сезона и особенности самих лесов, их зональность. Для южных районов характерны весенние и осенние пожары. В северных лесах, хотя пожароопасный сезон и короче, чем в южных, периоды, когда возможно возникновение и распространение пожаров, более длительны. Это связано с типами леса, фенологическими и фитоценотическими изменениями. Здесь происходит совпадение пожароопасных периодов с наибольшей грозовой активностью.

Площадь показывает, какое количество ударов молнии в землю приходится на оцениваемую территорию (возможное количество источников огня). Основываясь на данных о лесистости, можно определить вероятность попадания разряда молнии в лесные массивы, произрастающие на территории лесничества. Если с известным допущением принять, что попадание разрядов молнии в любую точку территории лесничества считается равновероятным, то вероятность попадания молнии в лес определяется как отношение площади, занятой лесами, к общей площади лесничества, или через отношение лесистости к площади лесничества, взятой за 100 %.

Средний класс природной пожарной опасности территории лесничества отражает состояние пожарной зрелости территории и показывает, как часто возможно загорание при соответствующих погодных условиях в пожароопасный сезон.

Гранулометрический состав почвы, а также наличие мерзлых грунтов определяют время воздействия молнии на горючий материал и условия растекания электрического тока по подстилающей поверхности от места удара молнии в землю.

Для количественной оценки опасности возникновения лесных пожаров от гроз использована система баллов. При разработке оценочной шкалы баллов были взяты за основу рекомендации Д.А. Арманда [1] и Г.Н. Зайцева [2]. Для этого приведенные выше факторы, влияющие на возникновение пожаров от гроз, оценивали в баллах. Каждая ограниченная территория по оцениваемым факторам получает промежуточные баллы, которые затем перемножаются. За основу построения редуцированной (основной) шкалы произвольно принимаем процентное распределение по градациям 10; 25; 50; 75; 90, то есть последующий редуцированный балл больше предыдущего на 10–25 процентов. Это наименьшая разница в величинах, когда между ними определяется различие. В результате была построена шестибалльная шкала.

По степени опасности возникновения лесных пожаров от гроз лесничества Красноярского края распределили на шесть классов: очень малая вероятность загорания, малая, умеренная, повышенная, высокая, очень высокая.

Для проверки совпадения и анализа редуцированной шкалы баллов с фактическим количеством лесных пожаров от гроз провели корреляционный и регрессионный анализы. Коэффициент корреляции между средним числом лесных пожаров от гроз и произведением промежуточных баллов равен 0,79, а с редуцированными баллами – 0,75.

На территории Красноярского края опасность возникновения лесных пожаров от гроз изменяется от повышенной и очень высокой на севере и северо-востоке до очень малой на юге. В центральных и южных районах края на территориях с горным рельефом опасность возникновения пожаров от гроз возрастает до умеренной [5]. Повышенная природная пожарная опасность от гроз на севере края обусловлена лесопирологическими условиями, высокой лесистостью территории, совпадением периодов повышенной пожарной опасности с пиком грозовой активности, благоприятными почвенно-грунтовыми условиями, способствующими образованию электрических искр в горючих материалах и зажиганию их при растекании заряда молнии по их поверхности и дальнейшем заземлении.

Таким образом, полученные сравнительные оценки позволяют оценить риск возникновения пожаров от гроз в лесах Сибири и дифференцировать территорию лесничеств по степени природной опасности возникновения пожаров от гроз, что дает возможность направленно и рационально проводить мероприятия по охране лесов от пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арманд Д.Л.* Наука о ландшафте. М.: Мысль, 1975. 286 с.
2. *Зайцев Г.Н.* Математический анализ биологических данных. М.: Наука, 1991. 180 с.
3. *Иванов В.А., Иванова Г.А.* Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука, 2010. 164 с.
4. *Каткова Т.Е.* Анализ структуры затрат на управление охраной и защитой лесов в Республике Марий Эл // Актуальные проблемы современной экономики: сб. науч. тр. Йошкар-Ола: МГТУ, 2007. С. 140–150.
5. *Курбатский Н.П.* Пирологические особенности лесов // Охрана лесов от пожаров в бассейне оз. Байкал. Красноярск: ИЛиД СО РАН, 1976. С 5–11.

УДК 551.588, 551.51, 551.583, 551.586

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЭМИССИИ CO_2 В ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Д.Г. ИВАНОВ, Ю.А. КУРБАТОВА

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия (ivanovdg19@gmail.com)

На протяжении летних периодов 2013–2016 гг. проводились измерения почвенной эмиссии CO_2 в заболоченном еловом и сосновом лесу южной тайги. Наиболее интенсивное дыхание почвы наблюдалось в ельнике в 2013 г. (913–2250 мг CO_2 $м^{-2}$ $ч^{-1}$), наиболее низкое – в сосняке летом 2016 г. (660 мг CO_2 $м^{-2}$ $ч^{-1}$). Годовая эмиссия CO_2 в заболоченных лесах в течение 2015–2016 гг. составила 2000–3000 г CO_2 $м^{-2}$. Вклад эмиссии CO_2 в холодный период составил 6–8,5 %.

SEASON DYNAMICS OF CO_2 EMISSION IN THE PALUDIFIED FORESTS OF EUROPEAN RUSSIA

D.G. IVANOV, Yu.A. KURBATOVA

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia (ivanovdg19@gmail.com)

During the summer periods of 2013–2016. Measurements of soil CO_2 emissions were made in a paludified spruce and pine forests of the southern taiga zone. The most intensive soil respiration was observed in the spruce forest in 2013 (913–2250 mg CO_2 m^{-2} h^{-1}), the lowest – in the pine forest in the summer of 2016 (660 mg CO_2 m^{-2} h^{-1}). Annual CO_2 emissions during 2015–2016 amounted to 2–3 kg CO_2 m^{-2}. The contribution of CO_2 emissions during the cold period was 6–8,5 %.

Заболоченные леса формируются в полугидроморфных биотопах, с одновременным проявлением лесо- и болотообразования, сопровождаемого угнетением древесной растительности и формированием напочвенного растительного покрова с преобладанием мезогигрофильных видов растений [3]. Для заболоченных лесов по сравнению с другими типами леса характерны низкая температура почвы, высокое содержание органических веществ и низкая интенсивность их разложения [1]. Газообмен почвы и напочвенного покрова в этих лесах может отличаться большой изменчивостью, как пространственной, так и временной [2]. Настоящее исследование направлено на оценку роли гидротермических условий в формировании пространственной и временной изменчивости дыхания почвы с различных микроландшафтов лесоболотных экосистем южной тайги европейской части России.

Все исследуемые участки были расположены в юго-западной части Валдайской возвышенности (56º26′–39′ с. ш., 32º29′–33º01′ в. д.) в области умеренного континентального климата. Измерения почвенных потоков CO_2 проводились в ельнике сфагново-черничном (Piecetum sphagnoso-myrtillosum) с торфами мощностью 35–50 см, относящемся к бореальным лесам подзоны южной тайги на 3 площадках: типичной площадке в центральной части ельника (TS), площадке на вывале (DS) и экотоне на границе с сосняком (ES). А также в сосняке осоково-сфагновом (Piceeto-Pinetum eriophoroso-myrtylloso-sphagnosum, PB), расположенном в нижней части моренного холма с торфяными почвами мощностью 75–90 см.

Потоки CO_2 измерялись с периодичностью 4–10 дней с использованием метода закрытых камер в течение вегетационного периода с июня по август 2013–2016 гг. Кроме того, проводились измерения сезонной динамики эмиссии CO_2 с октября 2015 по сентябрь 2016 г. В 2013 г. измерялись участки TS, DS и ES, а в 2014–2016 гг. – TS, DS, ES и PB. Около каждого основания снимались показания температуры почвы на глубине 10 см в 3 повторностях и глубина грунтовых вод с помощью перфорированных трубок.

Летние периоды наблюдений 2013–2016 гг. на территории заповедника значительно различались по гидротермическим условиям. Погоду летнего сезона 2013 г. можно характеризовать как сухую и жаркую, 2014 г. – жаркую с увлажнением, приближенным к многолетней норме, в 2015 г. отмечалась жаркая и сильно засушливая погода, а в 2016 г. – жаркая с достаточным увлажнением. В течение сезонных измерений с октября 2015 г. по сентябрь 2016 г. температура воздуха в целом была выше среднемноголетней на 1–6 °С. Количество осадков до вегетационного периода (октябрь – март) было близко к среднемноголетней норме, а в течение вегетационного периода – на 10 % меньше.

Полученные данные показали, что изученные микроландшафты характеризовались высокой пространственной вариабельностью потоков CO_2 из почвы. Даже на достаточно ровном микроландшафте TS с однородным растительным покровом значения почвенного дыхания в отдельных точках измерений могли различаться более чем в 2 раза, а средний коэффициент пространственной вариации почвенной эмиссии CO_2 за 4 летних периода составил 24 %. На площадке средний DS коэффициент вариации составил 26 %, на ES – 35 %, на PB – 34 %.

Наблюдения за интенсивностью выделения CO_2 с напочвенного покрова в летние периоды 2013–2016 гг. показали, что средние значения потоков CO_2 на площадках ES и PB статистически не различались (ES – 633–913 мг CO_2 $м^{-2}$ $ч^{-1}$, PB – 659–820 мг CO_2 $м^{-2}$ $ч^{-1}$). Выделение CO_2 на площадке TS было выше, чем на двух предыдущих, и составило 979–1052 мг CO_2 $м^{-2}$ $ч^{-1}$. Наиболее интенсивная эмиссия CO_2 была зафиксирована на площадке DS, при этом количество выделенного диоксида углерода заметно различалось между годами в сторону убывания – от 2248 мг CO_2 $м^{-2}$ $ч^{-1}$ в 2013 г. до 1078 мг CO_2 $м^{-2}$ $ч^{-1}$ в 2016 г. Кумулятивные значения эмиссии CO_2 представлены на рис. 1.

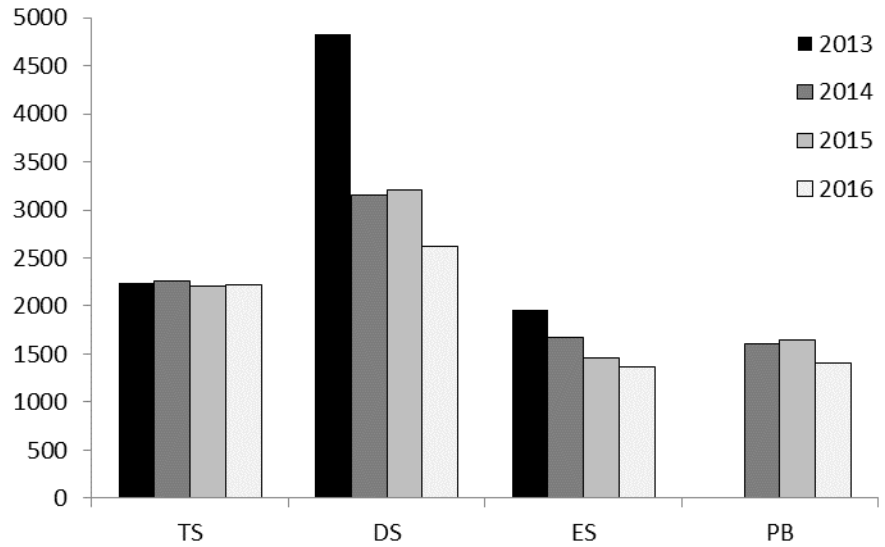


Рис. 1. Кумулятивные значения эмиссии CO_2 за летние периоды (2013–2016 гг.)

Сезонные наблюдения за интенсивностью эмиссии CO_2 из почв, проведенные с октября 2015 по сентябрь 2016 г., позволили рассчитать месячные потоки углекислого газа из почв на трех площадках наблюдений в течение года. Анализ полученных результатов показал высокую вариабельность месячных потоков CO_2 из почв с минимальными значениями в течение холодного периода (ноябрь – апрель), а максимальными – в течение летнего сезона (май – август). Коэффициент вариации потоков диоксида углерода из почв в течение года в пределах одной площадки

наблюдений достигал 65 %.

Расчеты годовых потоков CO_2 из почв, выполненные на основании наших исследований, позволяют заключить, что с напочвенного покрова заболоченных лесов за год выделяется около 2000–3000 г CO_2 $м^{-2}$ (что соответствует 20–30 т CO_2 $га^{-1}$ $год^{-1}$). Максимальное количество диоксида углерода за год было выделено по площадке TS, минимальное – на PB. Разница в годовой эмиссии CO_2 между ельником сфагново-черничным и сосняком пушицево-сфагновым составляет 34 %. Доля выделения углекислого газа в холодный период с толщиной снежного покрова от 10 до 35 см составила для участка TS 6 %, ES – 8,5 %, PB – 8 %.

Проведенные нами измерения почвенной эмиссии выявили характерные различия в функционировании микроландшафтов двух типов лесных болот подзоны южной тайги европейской части России. Выделение CO_2 с напочвенного покрова в исследуемых микроландшафтах различалось как между годами в течение летних периодов, так и по интенсивности и динамике в течение года между ними. Наиболее интенсивное почвенное дыхание зарегистрировано на старых вывалах с большим количеством древесного органического вещества и на типичном фоновом участке, значительно меньшие значения были получены на экотоне и в более гидроморфном сосняке пушицево-сфагновом. В течение года наименьшие значения были зарегистрированы с ноября по апрель, а максимальные – в июле – августе. Доля зимних потоков составила 6–8 % от годовых значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bonan G.B., Shugart H.H.* Environmental factors and ecological processes in boreal forests // Annu. Rev. Ecol. Syst. 1989. 20: 1–28.
2. *Ivanov D.G., Avilov V.K., Kurbatova Y.A.* CO_2 fluxes at south taiga bog in the European part of Russia in summer // Contemp. Probl. Ecol. 2017. 10 (2): 97–104.
3. *Joosten H., Clarke D.* Wise use of mires and peatlands // International Mire Conservation Group, International Peat Society, Saarijärvi, Finland, 2002. P. 303.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность В.К. Авилову за оптимизацию метода измерений. Работа выполнена при поддержке РФФИ и Русского географического общества (проект № 17-05-41127), а также частично при поддержке Президиума РАН по программе № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

УДК 630*43

МОНИТОРИНГ ПОСЛЕДСТВИЙ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПОЖАРОВ В СОСНЯКАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Г.А. ИВАНОВА[1], С.Г. КОНАРД[2], Н.М. КОВАЛЕВА[1], Е.А. КУКАВСКАЯ[1], И.Е. ФРИДРИХ[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (gaivanova@ksc.krasn.ru)
[2] Горная лесная станция Лесной службы США, Миссула, МТ, США (sgconard@aol.com)

Приведены результаты мониторинга воздействия высокоинтенсивных лесных пожаров на компоненты экосистемы и послепожарные сукцессионные процессы в сосняках лишайниковых Средней Сибири.

MONITORING OF HIGH-INTENSITY FIRE EFFECTS IN PINE FORESTS OF CENTRAL SIBERIA

G.A. IVANOVA[1], S.G. CONARD[2], N.M. KOVALEVA[1], E.A. KUKAVSKAYA[1], I.E. FRIDRICH[1]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest. SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (gaivanova@ksc.krasn.ru)
[2] Rocky Mountain Research Station of US Forest Service, Missoula, M, USA

This paper presents the results of 20-year monitoring of the impact of high-intensity forest fires on ecosystem components and postfire succession in pine forests with lichens of Central Siberia.

Сосновые леса сосредоточены преимущественно в Сибири, где они произрастают на площади более 74 млн га [3]. На сосновые леса приходится до 60 % от общего числа лесных пожаров [6], интенсивность которых широко варьирует в пространстве и во времени. Предполагается, что наблюдаемое изменение климата может вызвать увеличение частоты лесных пожаров и их интенсивности [5]. В связи с этим в настоящее время особую актуальность приобретают исследования воздействия высокоинтенсивных и катастрофических пожаров на лесные экосистемы.

Исследования были проведены в среднетаежных сосняках лишайниковых, произрастающих в бассейне реки Дубчес на Сымской равнине Западно-Сибирской низменности. В рамках исследований по оценке воздействия пожаров на компоненты экосистемы в районе пос. Бор Красноярского края в июле 1993 года был проведен международный эксперимент по горению биомассы (FIRESCAN) на площади 50 га [4]. В 2000 году была проведена серия экспериментов по моделированию поведения пожаров разной интенсивности в рамках российско-американского проекта (FIREBEAR) на участках площадью 4 га каждый в 20 км от села Ярцево [1]. Исследования по оценке воздействия пожаров на компоненты экосистемы и мониторинг постпирогенной сукцессии проводились в течение 20 лет после первого эксперимента и в течение 14 лет после второго.

Эксперименты были проведены в сосняках лишайниковых, произрастающих на плоских песчаных гривах, окруженных травяно-сфагновыми и крупноосоковыми болотами. Подобные сосняки лишайниковые являются репрезентативными для сосняков этого типа леса, широко распространенных в среднетаежной зоне.

В ходе Борского эксперимента 1993 года развился пожар высокой интенсивности, с элементами верхового и низового пожаров. Верховым пожаром было пройдено 57 % площади, при этом огонь распространялся со средней скоростью 25 м/мин, интенсивность горения на кромке пожара достигала 28 тыс. кВт/м. При пожаре сгорело 3,7 кг/м^2 ЛГМ, из которых на напочвенные, а также ветви и валеж приходилось 3,2 кг/м^2, на кроновые – 0,45 кг/м^2 [4].

Экспериментальный высокоинтенсивный пожар, проведенный в 2000 году, был низовым, устойчивым и распространялся со скоростью 9 м/мин, средняя интенсивность горения на кромке пожара составляла 5,6 тыс. кВт/м. При пожаре сгорело 3,1 кг/м^2

напочвенных ЛГМ, что составило 74 % от их допожарного запаса. Полностью сгорели опад, мхи и лишайники, травы и кустарнички и частично подстилка, ветви и валеж.

При пожаре с элементами верхового и низового пожара древостой был сильно поврежден огнем. Это связано с тем, что деревья длительное время находились в зоне летальных температур. На площади, пройденной верховым пожаром, у деревьев обгорели кроны. Сразу после пожара все деревья были заселены энтомовредителями. Основной отпад деревьев происходил в течение первых двух-трех лет после пожара. Через пять лет 10 % сухостойных деревьев, погибших в результате пожара, перешли в валеж, а оставшаяся часть сухостоя вывалилась через десять лет при ветровале. Через 20 лет после пирогенного воздействия оставшиеся живые деревья составляли лишь 2,5 % от допожарного количества и произрастали по кромке болота.

В сосняках, пройденных устойчивым высокоинтенсивным низовым пожаром, через три года отпад деревьев составлял 89 % от допожарного количества. Почти все деревья также были заселены энтомовредителями. Через 14 лет наблюдался вывал 90 % всех усохших деревьев.

После пожаров наблюдалось перераспределение фитомассы растительности в мортмассу, увеличение которой происходило за счет усыхания деревьев и последующего их разрушения. В сосняке, пройденном верховым пожаром, в первые пять лет после пирогенного воздействия увеличилась доля опада и подстилки. На 12 год запас напочвенных ЛГМ практически достиг допожарного значения, а через 20 лет превысил его. При этом в течение 12 лет в структуре запасов практически отсутствовали мхи и лишайники. Удельный вес трав и кустарничков, которые после пожара восстанавливаются быстрее, напротив, был в несколько раз выше. Через 20 лет после высокоинтенсивного пожара наблюдалось увеличение запасов подстилки: в два раза по сравнению с допожарным, а валежа и ветвей – в 10 раз, что создало условия для возникновения повторных пожаров.

В сосняке, пройденном высокоинтенсивным устойчивым низовым пожаром, также наблюдалось перераспределение фитомассы и мортмассы. Наибольшее накопление напочвенных ЛГМ происходило в первые годы после пожара, что связано с интенсивным отмиранием деревьев в этот период. В результате отпада деревьев мортмасса (подстилки, сучьев и валежа) увеличилась после пожара более чем в два раза.

Известно, что к наиболее выраженному индикатору послепожарных изменений относится растительность нижних ярусов, которая является динамичным компонентом лесных экосистем, чутко реагирующим на все изменения среды [2]. После высокоинтенсивных пожаров в сосняках погиб или деградировал лишайниковый покров. Восстановление травяно-кустарничкового яруса наблюдалось уже в первые годы после пожаров. Формированию растительных микрогруппировок со светолюбивыми видами растений способствовало разреживание древесного полога вследствие отпада деревьев. В последующие годы пирогенно-минерализованные участки, образовавшиеся на месте лишайникового покрова, заселились мхами рода *Polytrichum* Hedw. Сформировавшаяся сразу после пожара мозаичная структура травяно-кустарничкового яруса сосняков сохранилась и в последующие годы. Так, через 20 лет после высокоинтенсивного пожара травяно-кустарничковый ярус был представлен видами допожарного сообщества, однако его проективное покрытие осталось ниже, чем в допожарном фитоценозе. Проективное покрытие зеленых мхов *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. и *Dicranum polysetum* S.w. не превышало 1 %. Проективное покрытие видов лишайников, характерных для допожарного фитоценоза, таких как *Cladonia rangiferina* (L.) F.N. Wigg., *C. arbuscula* (Wallr.) Flot., *C. stellaris*

(Opiz.) Pouzar&Vezda, составляло 15 %. Подобные процессы постпирогенной сукцессии наблюдались и после устойчивого высокоинтенсивного низового пожара.

Пожар полностью уничтожил подрост на экспериментальном участке в районе Бора, но уже на следующий год здесь появились всходы сосны – в небольшом количестве. Послепожарное возобновление в сосняке происходило без смены пород. Несмотря на гибель части всходов и самосева сосны в первые годы, численность подроста существенно увеличилась со временем после пожара. Через 12 и 20 лет на долю подроста сосны приходилось соответственно 24 % и 62 % от общего количества самосева и подроста. Через 20 лет после пожара численность самосева и подроста составляла 13,3 тыс. экз./га.

В сосняке, пройденном высокоинтенсивным устойчивым низовым пожаром в районе Ярцево, подрост также был уничтожен полностью, но на следующий год появились массовые всходы сосны (до 182 тыс. экз./га). Установлена зависимость количества самосева и подроста от продолжительности периода после воздействия пожара, коэффициент корреляции 0,82. Через 14 лет количество благонадежного самосева и подроста достигало 18,1 тыс. экз./га. Преобладает благонадежный подрост сосны, что дает основание оценить естественное возобновление в среднетаежных сосняках после высокоинтенсивных пожаров как здоровую ценопопуляцию, достаточную для формирования древостоя.

Таким образом, проведение экспериментов и послепожарного мониторинга позволило получить данные о трансформации компонентов сосняков и сукцессии растительности после высокоинтенсивных пожаров с известными параметрами. В связи с возрастанием частоты и интенсивности лесных пожаров необходимо продолжать исследования последствий высокоинтенсивных пожаров и послепожарных процессов восстановления лесов в зонально-экологическом аспекте.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванова Г.А., Иванов А.В.* Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.
2. *Иванова Г.А., Перевозникова В.Д., Иванов В.А.* Трансформация нижних ярусов лесной растительности после низовых пожаров // Лесоведение. 2002. 2. С. 30–35.
3. *Лесной* фонд России (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 1 января 1998 г.) / Справочник. М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. 650 с.
4. *Firescan* Science Team. Fire in ecosystems of boreal Eurasia: The Bor Forest Island fire experiment, Fire Research Campaign Asia-North (FIRESCAN). In: Biomass burning and global change. Vol.11 (Levine J.S., ed). Cambridge, MA: MIT Press., 1996. P. 848–873.
5. *Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M.* Implications of changing climate for global wildland fire // International Journal of Wildland Fire. 2009. № 18. P. 483–507.
6. *Korovin G.N.* Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers. 1996. P. 112–128.

УДК 630

МОДЕЛИ РОСТА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ РУБОК УХОДА

Ю.Д. ИВАНОВА[1], В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ[2]

[1] Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия (lulichkja@rambler.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия (soukhovolsky@yandex.ru)

Ранее авторами была предложена ЭкоСолоу модель роста лесных насаждений – аналог экономической модели Р. Солоу. В настоящей работе в рамках модели ЭкоСолоу рассмотрено влияние рубок ухода на рост насаждения. Для оценки эффекта изъятия части деревьев в насаждении в ходе рубок ухода введена величина эффективной величины фотосинтезирующей массы, за счет которой учитывается конкуренция за свет в насаждении.

MODELS OF FOREST STANDS GROWTH TAKING INTO ACCOUNT THE THINNING

Yu. IVANOVA[1], V. SOUKHOVOLSKY[2]

[1] Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (lulichkja@rambler.ru)
[2] Sukachev Institute of Forest FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (soukhovolsky@yandex.ru)

Earlier, the Eco-Solow model of forest growth was proposed by the authors as an analogue of the economic model R. Solow. This paper discusses the effect of thinning to the growth of forest. An effective value of the photosynthesizing mass is introduced to assess the effect of removing some of the trees in the forest stand during the thinning.

В «классических» моделях роста лесных насаждений (модели Ферхюльста, Гомперца и др.) рассматривается изменение во времени одной переменной – фитомассы насаждения. Однако такие модели не объясняют гибель насаждения после воздействия насекомых-филлофагов, уничтожающих у взрослых деревьев не более 3–5 % фитомассы (но это листва!). Также с точки зрения классических моделей трудно объяснить такой широко используемый способ повышения продуктивности насаждений, как рубки ухода, поскольку в используемых моделях после изъятия части фитомассы движение моделируемой системы происходит по той же траектории, что и до рубок, и увеличения фитомассы не происходит.

Ранее авторами была предложена ЭкоСолоу модель роста лесных насаждений [1, 3], аналог экономической модели Р. Солоу. В предложенной модели рассматриваются две переменных – фитомасса K нефотосинтезирующей части насаждения (ствола, ветвей, корней), которая соответствует капиталу в модели Солоу [2], и фитомасса L фотосинтезирующей части насаждения – листва (аналог труда в модели Солоу). Динамика роста фитомассы описывается в этой модели мультипликативным уравнением относительно K и L.

$$NPP(T) = AK^{\alpha}(T) \cdot L^{1-\alpha}(T) - sM(T) \quad , \qquad (1)$$

где NPP – чистая первичная продукция насаждения, T – возраст насаждения, A, α, s – коэффициенты.

Такой подход позволяет, в частности, объяснить гибель насаждения после изъятия насекомыми фотосинтезирующего компонента L.

В настоящей работе в рамках модели ЭкоСолоу рассмотрено влияние рубок ухода на рост насаждения. Для оценки эффекта изъятия части деревьев в насаждении в ходе рубок ухода введена величина эффективной величины фотосинтезирующей массы L_{eff}, когда учитывается конкуренция за свет в насаждении. Авторами предлагается

уравнение, которое отражает связь эффективной фотосинтезирующей фитомассы с интенсивностью рубок:

$$NPP(T_c + T) = A(K(T) - K_c)^{\alpha} \cdot \gamma(\Delta L) \cdot (L(T) - L_c)^{1-\alpha} - s(M(T) - M_c) \quad , \qquad (2)$$

где $NPP(T_0+T)$ – чистая первичная продукция после изъятия при рубках в момент времени T_c фитомассы в объемах K_c и L_c, $\gamma(\Delta L) = 1 + \frac{\Delta L}{L_c}\exp(-\lambda \frac{\Delta L}{L_c})$ – функция эффективности фотосинтеза, ΔL – доля изъятой листвы ($0 \le \Delta L \le 1$), λ – константа эффективности рубок ухода ($1/\lambda$ – объем изъятия фитомассы при рубках, при котором функция эффективности γ достигает максимального значения).

В этом случае можно использовать эффективное значение L_{eff} в уравнении роста насаждения вместо таксономической оценки L. Из (2) следует, что реакция насаждения на рубки ухода немонотонна и при большом объеме изъятия рубки неэффективны. Предложенный подход к моделированию верифицируется на данных о росте фитомассы насаждений до и после рубок ухода. Этот подход открывает возможность оценки оптимального объема рубок ухода, учитывающей, с одной стороны, уменьшение фитомассы насаждения после рубок ухода, и с другой стороны, повышение интенсивности фотосинтеза при увеличении эффективного значения L_{eff}.

Описанный подход может быть также использован для оценки восстановления насаждений после нападения насекомых-вредителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Суховольский В.Г., Иванова Ю.Д.* Рост лесных насаждений как аналог процесса производства в экономических системах: E2E-модель // Сибирский лесной журнал. 2015. 1. С. 22–33.
2. *Solow R.M.* A Contribution to the Theory of Economic Growth. Quarterly Journal of Economics (The MIT Press), 1956. 70 (1): 65–94.
3. *Soukhovolsky V., Ivanova Y.* Modeling Production Processes in Forest Stands: An Adaptation of the Solow Growth Model // Forests. 2018. 9: 391.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-04-00119_а).

УДК 631.61

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИ НАРУШЕНИИ РЕЖИМА В АК-СУЙСКОМ РЕГИОНЕ

Л.И. ИВАНЧЕНКО

НПЦ ИЛ им. П.А. Гана Института биологи НАН КР, Бишкек, Кыргызстан (elena.ivanchenko.1302@gmail.com)

В статье представлена территория Ак-Суйского региона еловых лесов с почвенным покровом лесо-лугово-степного пояса 1800–3100 м над уровнем моря с хорошо развитой высокотравной растительностью. Вся территория бассейна реки Арашан по режиму пользования является охотничьим заказником, где недопустим выпас скота, приводящий к неблагоприятным последствиям.

THE TRANSFORMATION OF SOIL COVER IN CASE OF VIOLATION IN THE AK-SUU REGION

L.I. IVANCHENKO

Research and Production Center for Forest Research Institute of Biology of the National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic (elena.ivanchenko.1302@gmail.com)

The article is about territory of the Ak-Suu region with spruce forest, soil cover of which is 1800–3100 meters above sea level with well-developed vegetation. All territory of the river basin Arashan is a hunting place, where cattle grazing is prohibited which can lead to the adverse effects.

Основной задачей лесного хозяйства Кыргызстана является усиление защитных свойств горных лесов республики.

На территории бассейна Ак-Суйского региона преобладают гумидные типы растительности в виде сообществ лугово-лесного характера, перемежающихся с участками тянь-шаньских степей.

В вертикальном растительном профиле здесь четко обособляется лесной пояс, что отличает эту провинцию от смежной Памиро-Тянь-Шаньской, где пояс горных лесов выражен слабо. Леса из ели тянь-шаньской играют ландшафтную роль в лесо-лугово-степном поясе, поэтому нередко этот пояс сокращенно называют лесным. Именно пояс еловых лесов представляет собой наиболее значительную по площади и особо ценную в ландшафтном отношении территорию Ак-Суйского региона. На этот пояс и на нижерасположенную террасу реки и ее пойму приходятся основные антропогенные нагрузки и связанные с ними негативные последствия.

Ельники занимают склоны северных ориентаций и на отдельных участках имеют значительную протяженность по склонам и высокую полноту. Склоны южных экспозиций, которые в пределах пояса имеют значительное распространение, представляют собой степные участки. Лишь с увеличением абсолютной высоты более 2500–2600 м начинают преобладать лугостепи и появляются отдельные небольшие массивы и узкие продольные полосы елового леса, окаймленного на нижней высотной границе куртинами стланиковой арчи. Именно такую картину в размещении растительности мы наблюдаем в бассейне реки Арашан, составляющем основу Ак-Суйского региона.

Ган [1] определенно указывает на то, что в целом пояс еловых лесов может быть охарактеризован как лесо-лугово-степной.

Северо-восточный склон ущелья Арашан имеет северо-восточную ориентацию, и потому на нем преобладает мезофитная растительность. Это, прежде всего, еловые леса, которые именно в этом ущелье имеют большое распространение и высокую сомкнутость. Они находятся в диапазоне высот от 1800 до 3100 м над уровнем моря, тянутся непрерывной полосой по склону, от истоков до устья реки Арашан. Поскольку

склоны ущелья имеют большую крутизну (30–40°), на них имеются скальные обнажения, нередко нарушающие целостность еловых массивов. На необлесенных участках склонов, у их подножий и на террасах преобладает луговая растительность.

На юго-западном склоне ущелья в силу его лучшей инсолируемости леса и луга занимают значительно меньшие площади, преобладают степи и луго-степи. Количество скальных обнажений и осыпей возрастает.

Территория бассейна реки Арашан сложена преимущественно гранитами, которые часто выходят на поверхность на наиболее крутых участках склонов, а также образуют скопления глыб и обломков у подножий склонов и на речных террасах. Элюво-делювий гранита в виде лессовидных отложений обнаруживается на пологих местоположениях, чаще всего у подножий склонов.

По Самусенко [2], в почвенном покрове бассейна выделены 13 типов почв.

1. Горно-лесные холодно-сухоторфянистые темноцветные.
2. Горно-луговые черноземовидные.
3. Вторичные горно-луговые черноземовидные (лесных полян).
4. Горные черноземы многогумусные.
5. Лугово-черноземные.
6. Горно-лугово-степные.
7. Высокогорные лугово-лесные субальпийские (арчовых стлаников).
8. Горно-луговые дерново-полуторфянистые..
9. Лугово-болотные аллювиальные (пойменные).
10. Неразвитые наносные почвы ельников скальных.
11. Темно-каштановые.
12. Светло-каштановые.
13. Горно-степные.

Разнообразие почвенных типов определяется абсолютной высотой местности, особенностями рельефа, растительности и почвообразующих пород (главным образом, их карбонатностью или кислым составом). Наиболее характерными для региона и в наибольшей степени отличными друг от друга почвенными группировками являются горно-лесные, горно-луговые и горно-степные (лугово-степные) почвы. Они не образуют отдельных пространственных подпоясов в пределах пояса, а располагаются в одних и тех же условиях, нередко перемежаясь друг с другом. Основным фактором, обусловливающим их типовые различия и особенности почвообразования, является растительность. Именно различия во влиянии древесной и травянистой растительности определяют формирование разных почвенных типов под этими растительными сообществами.

Вся территория бассейна реки Арашан по режиму пользования является охотничьим заказником, где не должен допускаться выпас скота. Этот режим нарушается, скот пасется не только в пойменной части и на относительно малолесном юго-западном склоне, но и на лесной территории северо-восточного склона, где находятся основные массивы еловых лесов.

В местах скотопрогона (а это широкие вертикальные полосы по склону) гумусовый горизонт лесной почвы вместе с органической массой подстилки сбивается почти нацело. Такая картина наблюдалась на крутом (37–40°) северо-восточном склоне, где от прогона скота через лес образовалась широкая оголенная полоса со сбитым верхним горизонтом. На этой площади профиль начинается с нижележащего уплотненного горизонта «В», содержащего большое количество (49 %) скелета коренной породы в отличие от снесенного верхнего горизонта, где количество каменистых включений составляет не более 10 %.

Верхний горизонт сбитой почвы содержит в 2 раза меньше гумуса – 10 % против 20 %.

Вместе с тем почва лишается защитного верхнего слоя, насыщенного органическим веществом, пронизанного корнями растений, то есть становится уязвимой для эрозии. Если пастьба скота будет продолжаться, а тем более усиливаться, то пояс еловых лесов превратится в селеопасную территорию. Его почвозащитные функции в значительной мере будут утрачены.

Почвенное обследование показало также, что имеются признаки иссушения поймы. Бывшие заболоченные площади превращаются в суходольные луга с кочкообразной поверхностью. Вертикальный срез кочки на глубину 50 см выявил почву с признаками прежнего заболачивания. Реакция почвы слабокислая по всей глубине (pH 5,75–6,7), содержание гумуса значительно в верхнем 18-сантиметровом слое (8,4–5,2 %). Избыточного увлажнения почвы во второй половине лета не обнаружено.

В результате изменений, произошедших в режиме увлажнения, повысилась лесопригодность ранее заболоченных участков поймы.

Вместе с тем иссушение сазовых площадей на пойме может рассматриваться как негативный показатель, свидетельствующий о нарушении водного баланса территории в результате интенсивного выпаса скота.

На юго-западном, относительно малолесном и сухом, склоне ущелья Арашан происходит пастьба скота (овец, лошадей, крупного рогатого скота), особенно в среднем и верхнем течении реки, где хорошо выражена пойменная часть, а террасы и нижние части склонов так же, как и пойма, покрыты субальпийским травостоем. Вследствие пастьбы почва на склонах сбивается и образуются характерные ступенеобразные микрооползни. Большие площади на территории этого склона заняты лугово-степными и горно-степными маломощными почвами, скальными обнажениями. Почвенный покров его в целом неустойчив ввиду маломощности почв и их каменистости, поэтому пастьбу скота желательно свести к минимуму.

В результате можно заключить, что следует ограничить (свести к минимуму) пастьбу скота на территории охотничьего заказника, куда по режиму пользования относится бассейн реки Арашан в Ак-Суйском регионе. Большая крутизна склонов ущелья Арашан и связанная с нею маломощность почв обусловливают податливость верхней почвенной толщи разрушительному воздействию животных при пастьбе и особенно при скотопрогонах. Почвенный покров в этих условиях становится уязвимым в эрозионном отношении. Недопустимо иссушение поймы как негативный показатель нарушения водного баланса территории в результате выпаса скота.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ган Н.П.* Растительность бассейна рек Ак-Суу и Арашан (Терской Ала-Тоо): автореф. … Алма-Ата, 1984. С. 22.
2. *Самусенко В.Ф.* К вопросу о почвообразовании под еловыми лесами Прииссыккулья. Тр. Киргиз. ЛОС. Вып. III. 1962. С. 225–243.

УДК 630:004.9

МИГРАЦИЯ СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЫ ХВОЙНЫХ В СИБИРИ В XXI СТОЛЕТИИ

С.Т. ИМ[1], В.И. ХАРУК[1], В.Г. ЛИ[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (stim@ksc.krasn.ru; viharuk@ksc.krasn.ru)
[2] Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия (viktorya.g.lee@gmail.com)

Проведен анализ миграции северной границы сомкнутых вечнозеленых хвойных (ВЗХ) древостоев в Сибири на основе временной серии карт растительного покрова (2001–2016 гг.), полученных по данным спутниковой съемки MODIS. Выявлено преимущественное смещение границы ВЗХ в северном направлении (с максимальными значениями до 95 км). Однако в зоне интенсивного антропогенного воздействия наблюдается смещение границы ВЗХ в южном направлении (до ~100 км).

GIS-ANALYSIS OF THE EVERGREEN FOREST TREELINE MIGRATION IN SIBERIA BASED ON THE REMOTE SENSING DATA

S.T. IM[1], V.I. KHARUK[1], V.G. LEE[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (stim@ksc.krasn.ru; kharuk@ksc.krasn.ru)
[2] Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia (viktorya.g.lee@gmail.com)

Migration of the northern evergreen trees (EVG) treeline in Siberia was analyzed using the time series of the MODIS-based land cover maps during the period of 2001–2016. The northward shift of the EVG treeline was observed, mostly (up to 95 km). However, in the zone of high anthropogenic pressure, the southward retreating of the EVG treeline was identified (up to 100 km).

В последние десятилетия в Сибири отмечается рост сомкнутости хвойных вечнозеленых лесов (ВЗХ), что связывают с изменениями климата [1, 2]. Отмечается распространение ВЗХ древостоев в зону доминирования лиственницы [2] и продвижение древесной растительности на север [3, 5, 6]. Наиболее подробно исследовано широтное смещение древостоев, сформированных *Larix sp*. Однако указанная проблема как для лесов Сибири, так и в целом в циркумбореальной зоне малоизучена.

Целью данной работы являлся анализ миграции северной границы сомкнутых ВЗХ древостоев на основе данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий.

Объект исследования. Анализировались вечнозеленые хвойные древостои Сибири, сформированные кедром (*Pinus sibirica*), сосной (*Pinus sylvestris*), пихтой (*Abies sibirica*) и елью (*Picea obovata*). Исследуемая территория составляла более 2 млн кв. км (62–100° в. д., 58–70° с. ш.), ~180 тыс. км^2 сомкнутых ВЗХ древостоев. На северном пределе ВЗХ древостои граничат с лесотундрой и лиственничными древостоями (*Larix gmelinii, Larix sibirica*). Сосна практически не участвует в формировании северной границы ВЗХ.

Материалы и методы. Для идентификации северной границы ВЗХ использовалась временная серия карт растительного покрова IGBP MCD12Q1 версии C6, сгенерированная на основе данных MODIS. Пространственное разрешение 500 м, период – 2001–2016 гг. Согласно классификации IGBP, исследуемый класс включал участки с преобладанием ВЗХ древостоев с сомкнутостью >60 %. Точность классификаций составляет ~67–74 %. Из анализа устранены территории гарей 2000–2016 гг. в соответствии с данными MCD64A1 (http://modis-fire.umd.edu; ftp://ba1.geog.umd.edu). Связь динамики ВЗХ древостоев с рельефом выполнена с

использованием ЦМР GMTED2010 с пространственным разрешением ~250 м. Климатические переменные извлекались из баз данных CRU TS 4.02 (https://crudata.uea.ac.uk; пространственное разрешение 0,5°) и MERRA2 https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2; пространственное разрешение 0,625°×0,5°).

Алгоритм выделения северной границы сомкнутых ВЗХ древостоев. Разработана методика автоматизированного выделения северной границы ВЗХ древостоев по временной серии карт лесов на основе ГИС. Алгоритм состоял из следующих этапов: (1) Расчет маски гарей за период наблюдений. (2) Удаление территорий гарей из временной серии классификационных картосхем лесов. (3) Стабилизация классификаций лесов начального и конечного периодов. (4) Генерация линий северной границы древостоев. (5) Фильтрация «выбросов» из векторных линий границ древостоев. (6) Сглаживание линий границ древостоев. Расчет полигональных областей доверительных интервалов. (7) Расчет смещения границы леса. Алгоритм реализован в программном пакете ESRI ArcGIS (https://www.arcgis.com) с применением скриптов на языке программирования Python.

Смещение северной границы ВЗХ. Протяженность анализируемой границы ВЗХ составила ~10 тыс. км (рис. 1). В зоне границы начиная с 1970-х гг. наблюдалось потепление, приведшее к возрастанию весенних, летних и годовых температур на ~0,5–1,5 °С ($p < 0,05$). Северная граница ВЗХ находится в интервале со среднелетними температурами +12 °С– +15 °С.

В 2014–2016 гг. северная граница находилась в интервале широт 61,7°–66,6° с. ш. (в среднем 64,5±0,1° с. ш.), тогда как в 2001–2004 гг. – на 64,2±0,1° с. ш. Смещение границы в среднем составило ~26±1,3 км (или ≈1,7 км/год). Отдельные кластеры сомкнутых древостоев выявлены значительно севернее (до ~300 км вдоль долины р. Енисей; 69° с. ш.).

Выявлены две основные зоны значимого смещения границы ВЗХ на север (Z1+: 54±0,5 км, Z3+: 94±1,5 км) и одна зона отступления границы (Z2-: 100±2,5 км). Зоны Z1+ и Z2- локализованы на Западно-Сибирской равнине, зона Z3+ расположена в Среднесибирском плоскогорье (рис. 1). Отступление ВЗХ в южном направлении связано с разработкой нефтегазовых месторождений Ванкорского кластера и месторождений Ямало-Ненецкого АО. Во всех зонах отмечается рост (на ~15–50 %) площади ВЗХ древостоев. В Западной Сибири основной прирост наблюдался на высотах 100–130 м н. у. м., в Среднесибирском плоскогорье – на 350–500 м. Прирост площади ВЗХ был относительно выше на вогнутых склонах (3–7°) западной и юго-западной экспозиции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *He Y., Huang J., Shugart H.H., Guan X.* Unexpected evergreen expansion in the Siberian forest under warming hiatus // J. Clim. 2017. 30 (13): 5021–5039.
2. *Kharuk V.I., Ranson K. J., Dvinskaya M. L.* Evidence of evergreen conifer invasion into larch dominated forests during recent decades in central Siberia // Eurasian J. For. Res. 2007. 10: 163–171.
3. *Kharuk V.I., Im S.T., Petrov I.A.* Warming hiatus and evergreen conifers in Altay-Sayan Region, Siberia // J. Mount. Sci. 2018. 15 (12): 2579–2589.
4. *Kirdyanov A.V., Hagedorn F., Knorre A.A. et al.* 20th century treeline advance and vegetation changes along an altitudinal transect in the Putorana Mountains, northern Siberia // Boreas. 2012. 41 (1): 56–67.
5. *Mamet S.D., Brown C.D., Trant A.J. et al.* Shifting global Larix distributions: Northern expansion and southern retraction as species respond to changing climate // J. Biogeogr. 2018. [Электронный ресурс.] URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jbi.13465.

6. *Shiyatov S.G., Terent'ev M.M., Fomin V.V. et al.* Altitudinal and horizontal shifts of the upper boundaries of open and closed forests in the Polar Urals in the 20th century // Russ. J. Ecol. 2007. 38 (4): 223–227.

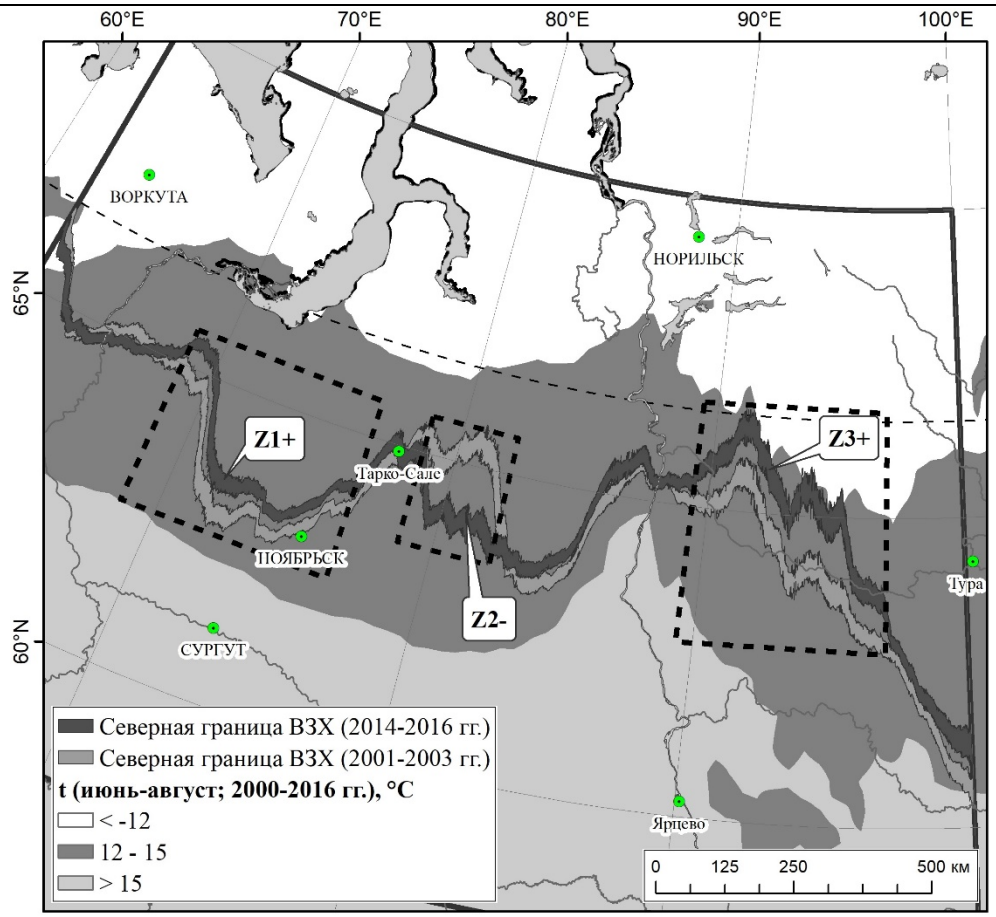


Рис. 1. Северная граница ВЗХ в 2001–2003 гг. (светлый тон) и в 2014–2016 гг. (темный тон) Доверительный интервал указан для $P > 0{,}95$. Трапеции (Z1+, Z2-, Z3+) – зоны значимых смещений границы ВЗХ.
Подложка: распределение среднелетних температур

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00432).

УДК 574.472

БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА РЕКРЕАЦИОННЫХ СОСНЯКОВ В ЗЕЛЕНОЙ ЗОНЕ Г. ТЮМЕНИ

М.Н. КАЗАНЦЕВА

Институт проблем освоения Севера ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия (MNKazantseva@yandex.ru)

Приводятся данные исследования биологического разнообразия растительного покрова сосновых лесов в зеленой зоне Тюмени, испытывающих рекреационную нагрузку, в сравнении со слабонарушенными участками отдаленных территорий.

BIOLOGICAL DIVERSITY OF PLANT COVER RECREATIONAL PINE FORESTS IN THE GREEN ZONE OF TYUMEN CITY

M.N. KAZANTSEVA

Institute of the problems of Northern development Tyumen Scientific Center SB RAS, Tyumen, Russia (MNKazantseva@yandex.ru)

The research data on the biological diversity of the plant cover of pine forests in the green zone of Tyumen, which are experiencing recreational stress, in comparison with the weakly disturbed areas of remote areas are given.

Леса вокруг больших городов испытывают интенсивную рекреационную нагрузку, которая сопровождается трансформацией естественных биоценозов. Расчленение крупных лесных массивов дорожно-тропиночной сетью, изреживание древостоев, уплотнение и загрязнение почв приводят к существенным изменениям в комплексе абиотических факторов, способствуют снижению общего биологического разнообразия экосистем, их устойчивости и рекреационной привлекательности. Эти процессы отчасти компенсируются появлением видов, осваивающих новые экологические ниши открытых местообитаний и синантропных растений местной флоры, а также вселением в естественные сообщества инородных видов, проникающих сюда из городских посадок, с дач и огородов частного сектора [2, 3].

В зеленой зоне Тюмени широко распространены сосновые леса, являющиеся местом массового отдыха горожан, которые зачастую предпочитают их насаждениям других формаций из-за особенностей эстетического восприятия.

Цель нашего исследования – изучение биологического разнообразия сосняков зеленой зоны Тюмени под действием рекреационной нагрузки.

Исследования проводились на 4 пробных площадях размером 25×25 м, заложенных в сосняках травяной группы в рамках работ по экологическому мониторингу лесов [1]. Две опытные площади расположены в пределах лесопаркового пояса Тюмени: в черте города (№ 1) и на его окраине (№ 2). Две другие – на удалении 20 км (№ 3) и 30 км (№ 4) от города, на относительно мало нарушенных участках зеленой зоны; эти площади рассматривались в качестве условно контрольных. Древостои на всех пробных площадях относятся к одной возрастной категории – приспевающих (70–80 лет); они близки по составу пород и основным таксационным показателям (табл. 1). Обследованные сосняки отличаются достаточно высоким разнообразием кустарникового подлеска. В общей сложности на всех пробных площадях было отмечено 18 видов кустарников. На опытных участках присутствовало 13 видов (3 инвазионных); на контрольных – 11.

Живой напочвенный покров изучался на учетных площадках 10×10 м, закладываемых в пределах пробной площади с 5-кратной повторностью. Описание травянистой растительности проводилось в соответствии с методами, принятыми в геоботанических исследованиях [4]. Общее проективное покрытие живым напочвенным покровом и видовая насыщенность на опытных участках по сравнению с контрольными снижены (табл. 1). Основной причиной этого является «вытаптывание» растительного покрова отдыхающими.

Таблица 1. Характеристика растительного покрова пробных площадей

№ ПП	Древостой				Живой напочвенный покров	
	Видовой состав	Средний диаметр ствола, м	Средняя высота ствола, м	Густота древостоя, шт./ га	Проективное покрытие, %	Насыщенность, видов / уч. пл.
					X ± m	X ± m
1	9С1Б	38,3	23,2	360	42,2 ± 17,0	14,0 ± 3,2
2	8С2Б	30,3	23,6	468	73,0 ± 8,6	16,2 ± 1,7
3	9С1Б	29,5	25,2	470	85,1 ± 4,5	22,2 ± 1,6
4	8С1Б1Ос	26,9	24,1	572	95,0 ± 1,6	22,6 ± 1,9

Примечание. X ± m – среднее значение с ошибкой.

В общей сложности на всех участках было отмечено 106 видов травянистых растений из 40 семейств. Контрольные площади отличаются более высоким таксономическим богатством (рис. 1). Их общий флористический список включает 86 видов, а на опытных – 60. Семнадцать видов растений было встречено только на опытных участках, 39 – только на контрольных, 50 видов – общие для обеих групп.

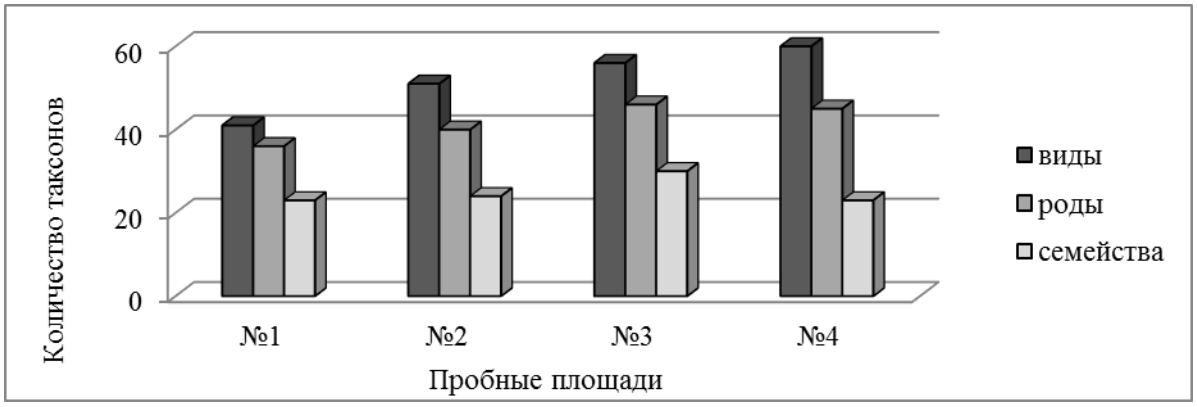


Рис.1. Таксономическое богатство растительного покрова на пробных площадях

Флористическое сходство между участками было оценено с помощью коэффициента Серенсона – Чекановского (табл. 2). В целом отмечается более тесное сходство в парах контроль – контроль и опыт – опыт, что можно объяснить изменениями в составе флор опытных участков в результате появления здесь видов, более устойчивых к интенсивному рекреационному воздействию и изменившимся характеристикам абиотической среды.

Таблица 2. Флористическое сходство живого напочвенного покрова пробных площадей

	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
№ 1		60,0	47,3	48,2
№ 2			43,3	42,8
№ 3				51,8

Изменения в составе флор происходят в результате снижения доли лесных видов и увеличения луговых (лугово-лесных), а также синантропных видов растений, обладающих высокой экологической пластичностью (рис. 2). Из этой группы наиболее обычными являются: одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), подорожник ланцетный (*Plantago lanceolata*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), чистотел большой (*Chelidonium majus*) и др. В то же время по общему обилию (проективному покрытию) на всех участках значительно преобладает группа лесных растений.

В табл. 3 приводятся показатели биологического разнообразия живого напочвенного покрова пробных площадей, оцененные с учетом роли в его составе отдельных видов

растений. Из двух обобщенных индексов разнообразия индекс Симпсона придает больший вес обычным видам, индекс Шеннона – редким [5].

Опытные участки демонстрируют более низкие показатели разнообразия растительности, хотя различия с контролем и не очень велики. Доминирование на всех участках обеспечивается лесными видами: костяникой (*Rubus saxatilis*), земляникой (*Fragaria vesca*), вейником (*Calamagrostis arundinacea*) и некоторыми другими. На опытных площадях доминирование выражено сильнее, так как наиболее уязвимые лесные виды выпали из состава сообществ либо сократили свою численность; в результате относительное обилие оставшихся возросло. По той же причине на этих участках ниже показатель выравненности, отражающий распределение особей внутри видов.

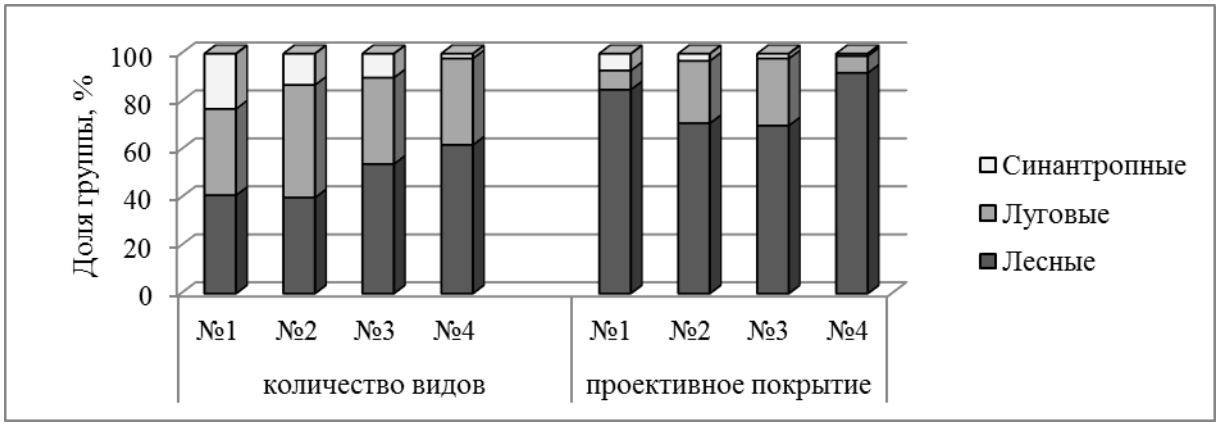


Рис. 2. Соотношение эколого-ценотических групп растений на пробных площадях

Таблица 3. Показатели биологического разнообразия на пробных площадях

Индексы	Пробные площади (ст)			
	№ 1	№ 2	№ 4	№ 5
доминирования, C (Симпсона)	0,22	0,15	0,10	0,10
разнообразия, D (Симпсона)	0,78	0,85	0,90	0,92
разнообразия, H (Шеннона)	2,08	2,56	2,72	2,81
выравненности, e (Пиелу)	0,56	0,64	0,70	0,71

Таким образом, в сосновых лесах, расположенных в переделах лесопаркового комплекса города Тюмени, отмечается снижение таксономического богатства и биологического разнообразия растений травяно-кустарничкового яруса по сравнению с более отдаленными и менее посещаемыми территориями зеленой зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гашев С.Н., Алешина О.А., Арефьев С.П. и др.* Начальный этап мониторинга экосистем г. Тюмени и его пригородной зоны // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2002. 3. С. 11–23.
2. *Казанцева М.Н., Казанцев П.А.* Инородные виды древесных растений в городских лесах Тюмени // Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению: мат-лы междунар. науч. конф., 8-11 нояб. 2017 г. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. С. 133–136.
3. *Казанцева М.Н., Казанцев С.А.* Влияние яблони ягодной (*Malus baccata* (L.) Borkh.) на некоторые физические параметры биоценотической среды в сосняках зеленой зоны г. Тюмени // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2017. 3–3. С. 37–49.
4. *Понятовская В.М.* Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. М. –Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 209–289.
5. *Лебедева Н.В., Дроздов Н.Н., Криволуцкий Д.А.* Биологическое разнообразие. Учебное пособие для вузов. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2004. 432 с.

УДК 574.24

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ БИОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ В ХВОЕ *PINUS SYLVESTRIS* L. ПРИ ВОЗРАСТАНИИ ТЕХНОГЕННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

О.В. КАЛУГИНА, Т.А. МИХАЙЛОВА, О.В. ШЕРГИНА

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия (olignat32@inbox.ru)

Исследованы токсикологические и физиолого-биохимические показатели, отражающие проявление защитно-адаптационных свойств сосны обыкновенной в градиенте возрастающего техногенного загрязнения. Выявлены особенности проявления защитных реакций при разных уровнях техногенной нагрузки.

CHANGES IN THE CONTENT OF BIOCHEMICAL PROTECTION COMPONENTS IN THE NEEDLE PINUS SYLVESTRIS L. DURING THE INCREASE OF TECHNOGENIC CHEMICAL LOAD

O.V. KALUGINA, T.A. MIKHAILOVA, O.V. SHERGINA

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia (olignat32@inbox.ru)

Toxicological and physiological-biochemical parameters reflecting the development of the protective-adaptive properties of Scots pine in a gradient of increasing technogenic pollution are studied. Identified features of the development of protective reactions at different levels of technogenic load.

В последние десятилетия одним из приоритетных антропогенных факторов, определяющих состояние лесов в Байкальском регионе, служит техногенное загрязнение. В условиях нерегулируемого привноса элементов-загрязнителей изменяется питательный статус древесных растений, нарушаются многие метаболические процессы. При этом наиболее опасно развитие окислительного стресса у деревьев, при котором внутри клеток образуется большое количество активных форм кислорода (АФК) с высокой окислительной способностью. В результате повышенной генерации АФК нарушаются транспорт веществ, мембранные комплексы клетки, повреждаются белки, ДНК и РНК, может произойти дезорганизация цитоскелета [4, 6].

Важнейшим механизмом регулирования гомеостаза у растений в условиях техногенного загрязнения является активация биохимической системы антиоксидантной защиты (АОС), включающая набор низкомолекулярных соединений и ферменты [3]. Характер взаимодействия между этими двумя компонентами защитной системы зависит от вида растения, его онтогенетических особенностей и действующего негативного фактора [5]. Цель данной работы – изучить изменение содержания компонентов биохимической защиты в хвое сосны и выявить особенности их проявления при разных уровнях техногенной нагрузки.

Исследования проводились в сосновых (*Pinus sylvestris* L.) лесах на территории, загрязняемой выбросами предприятий Братского промышленного центра. Это наиболее крупный в Восточной Сибири источник техногенных эмиссий, включающий более 40 предприятий, в том числе мощный алюминиевый завод (БрАЗ). Ежегодный суммарный объем выбросов этого промцентра достигает 110 тыс. тонн [2]. Высокотоксичными компонентами выбросов являются фторсодержащие вещества, диоксид серы, оксиды углерода, неорганическая пыль, обогащенная соединениями алюминия и кремния, а также смолистые вещества, представляющие собой смесь полициклических ароматических углеводородов (ПАУ).

Обследованная территория характеризуется жесткими природными условиями, для нее характерны горно-котловинный, сильнопересеченный рельеф, высокая степень

континентальности климата (коэффициент континентальности по Иванову составляет 200–210) и, как следствие, пониженная способность атмосферы к самоочищению. Наличие четко выраженных градиентов загрязнения позволяет изучать широкий спектр ответных реакций компонентов лесной экосистемы: от необратимых повреждений до разного рода адаптационных приспособлений. На территории обследования было заложено 37 пробных площадей (ПП) в разных направлениях от основного источника загрязнения – БрАЗа. Фоновые (незагрязненные) ПП закладывались на расстоянии более 60 км от Братского промышленного центра.

Изучение комплекса защитных реакций лесной экосистемы проводилось на территориях с разным уровнем техногенной нагрузки. На основе абсолютных значений содержания приоритетных неорганических элементов-поллютантов (F, S, Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Al, Si) в хвое сосны на всех ПП были рассчитаны коэффициенты концентраций (Кс) и построены ряды накопления элементов (табл. 1). Методом кластерного анализа выделены слабый, средний, сильный и критический уровни загрязнения территории, фоновые ПП образовали отдельный кластер. Показано, что критический уровень загрязнения обнаруживается на расстоянии до 3 км от алюминиевого завода, сильный – на удалении до 10 км в западном, северном, северо-западном и северо-восточном направлениях, а также на ветроударных склонах хребтов, средний – на удалении до 25 км, слабый – на удалении до 50 км от БрАЗа по разным направлениям.

Таблица 1. Шкала оценки уровня техногенной нагрузки на лесную экосистему по коэффициентам концентрации (Кс)* элементов-поллютантов

Уровень загрязнения территории	Кс хвои сосны обыкновенной	Zc
Слабый	$F_{2,6} – S_{1,4} – Pb_{2,1} – Cd_{2,6} – Cu_{1,4} – Zn_{1,2} – Fe_{1,5} – Al_{2,5} – Si_{1,6}$	16,9
Средний	$F_{5,3} – S_{1,9} – Pb_{2,6} – Cd_{4,5} – Cu_{3,6} – Zn_{1,4} – Fe_{3,5} – Al_{5,1} – Si_{3,1}$	31,0
Сильный	$F_{18,2} – S_{3,3} – Pb_{4,8} – Cd_{8,2} – Cu_{6,2} – Zn_{1,6} – Fe_{5,6} – Al_{9,9} – Si_{5,2}$	63,0
Критический	$F_{67,4} – S_{4,7} – Pb_{5,0} – Cd_{10,1} – Cu_{8,0} – Zn_{1,8} – Fe_{6,1} – Al_{16,1} – Si_{6,6}$	125,8

Примечание. * Кс рассчитывались как отношение содержания элемента в хвое сосны на загрязняемых территориях к его фоновому содержанию, Zc – сумма коэффициентов концентраций.

Корреляционный анализ между суммарным показателем загрязнения хвои и концентрацией в ней перекиси водорода показал достоверное влияние аэропромвыбросов на продуцирование H_2O_2 ($r = 0,79$, $n = 37$). Так, при слабой нагрузке ее количество выше фоновых значений в 1,5 раза, при средней – в 2,0 раза, при сильной и критической – в 3,0 раза (рис. 1).

Об активации защитной системы сосны при первых трех уровнях техногенной нагрузки можно судить по возрастанию в хвое пролина – в 1,4 раза, аскорбиновой кислоты – в 1,5 раза, флавоноидов – в 1,6 раза, глутатиона – в 2,4 раза, гваяколпероксидазы – в 1,8 раза (рис. 1). При критическом уровне, когда Zc хвои достигает 125,8, защитные реакции подавляются, о чем свидетельствует резкое снижение уровня антиоксидантов. Установлено, что в зависимости от уровня техногенной нагрузки включаются те или иные компоненты антиоксидантной защиты. При слабом уровне нагрузки (Zc хвои = 16,9) в первую очередь включается низкомолекулярная компонента, особенно пролин, при средней нагрузке (Zc хвои = 31,0) усиливается накопление аскорбиновой кислоты, флавоноидов и глутатиона, а также возрастает активность высокомолекулярного компонента, в частности, гваяколпероксидазы, при сильной нагрузке (Zc хвои резко увеличивается до 63,0) содержание большинства антиоксидантных соединений достигает максимальных значений, что свидетельствует о высокой мобилизации защитных свойств сосны.

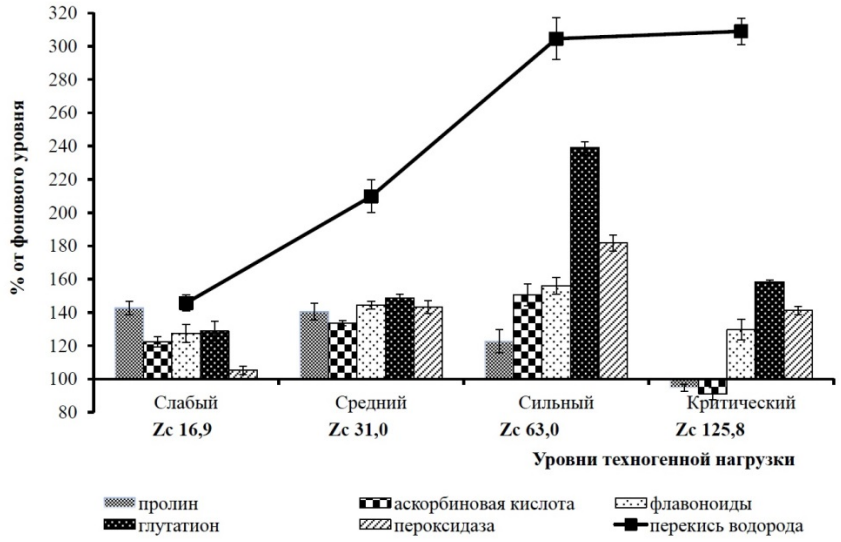


Рис. 1. Изменение содержания компонентов биохимической защиты в хвое сосны при разных уровнях техногенной химической нагрузки

Разнообразие выполняемых функций и активная реакция пероксидазы на техногенные выбросы обусловливаются наличием широкого спектра молекулярных форм фермента – изоформ [1]. На фоновых территориях выявлено две белковые формы со средней подвижностью (Rf 0,56 и 0,68). В условиях техногенного загрязнения увеличивается количество изоформ в зоне средней подвижности (Rf 0,42, 0,46, 0,52, 0,58, 0,64) и появляются фракции фермента в зоне высокой подвижности (Rf 0,73, 0,76, 0,81). Максимальное число изоформ этого фермента выявляется при сильной техногенной нагрузке. При этом стабильной является только одна изоформа с Rf 0,56.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андреева В.А.* Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений. М.: Наука, 1988. 128 с.
2. *Государственный* доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году». Иркутск: Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2018. 249 с.
3. *Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В.* Участие растворимых углеводов и низкомолекулярных соединений азота в адаптивных реакциях растений // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Серия Биология. 2010. Вып. 2 (20). С. 36–53.
4. *Полесская О.Г.* Растительная клетка и активные формы кислорода: учебное пособие / Под ред. И. П. Ермакова. Москва: КДУ, 2007. 140 с.
5. *Радюкина Н.Л., Иванов Ю.В., Шевякова Н.И.* Методы оценки содержания активных форм кислорода, низкомолекулярных антиоксидантов и активностей основных антиоксидантных ферментов // Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений. М.: Бином, 2011. С. 347–365.
6. *Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н., Бессережнова М.И.* Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2 (18). С. 171–185.

УДК 574.47

ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ЭКТОМИКОРИЗ *PINUS SIBIRICA* DU TOUR В БИОТОПАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

К.С. КАРБЫШЕВА, О.Б. ВАЙШЛЯ

Томский государственный университет, Томск, Россия (skoosie@mail.ru, plantaplus@list.ru)

Для *Pinus sibirica* не определены все грибные симбионты и применяемые ими «трофические стратегии» (exploration type). Выявлены максимальная частота встречаемости контактного типа эктомикориз в фитоценозе с максимальной густотой стояния деревьев и минимальная встречаемость эктомикориз с «длинной дистанцией действия» в наиболее нарушенном фитоценозе.

ECOLOGICAL AND TROPHICAL SPECIALISATION OF PINUS SIBIRICA DU TOUR IN SOUTHERN TAIGA BITOPES OF TOMSK REGION

K.S. KARBYSHEVA, O.B. VAISHLYA

[1] Tomsk state university, Tomsk, Russia (skoosie@mail.ru, plantaplus@list.ru)

Neither *Pinus sibirica* fungal symbionts nor its ectomycorrhizal exploration types are fully observed. This study shows maximal occurrence of Contact exploration type in a biotope with the highest root density and minimal number of ectomycorrhizas with Long distance exploration type in the disturbed biotope.

Известно, что *Pinus sibirica* – это высокомикотрофное растение, и при отсутствии микоризы оно не растет и не развивается [1, 12]. На основе комплекса морфологических и анатомических признаков эктомикориз выделяют несколько типов их «трофической специализации» – exploration type. Под этим термином подразумевается определенная стратегия зондирования, получения и доставки растению питательных веществ грибным симбионтом, которая зависит от видовой принадлежности грибного партнера [3]. Выделяют Contact exploration type – «контактную стратегию» с гладкими гидрофильными мантиями, например, *Lactarius deliciosus* [5]. Стратегия Short distance exploration type с «короткой дистанцией действия» формирует многочисленные гидрофильные гифы, которые распространяются на ограниченное расстояние, например, у *Inocybe sp.* [7]. При Medium Distance Fringe/Mat exploration type, стратегии «со средней дистанцией действия», образуются плотные маты из гидрофобных ризоморф, которые характерны для *Gautieria monticola* и *Hysterangium setchellii* [6]. У Medium Distance smooth exploration type формируются гидрофильные ризоморфы – такие как у *Laccaria sp.* [7]. Long distance exploration type – это стратегия с «длинной дистанцией действия», и она характеризуется очень длинными, сильно дифференцированными гидрофобными ризоморфами, например, у *Suillus sp.* [7].

Поскольку для *P. sibirica* до сих пор не определены все грибные симбионты и применяемые ими «трофические стратегии», в Томском государственном университете было начато изучение данного вопроса [12, 13]. Целью данного исследования являлось изучение микотрофности *Pinus sibirica* в связи с различными условиями произрастания в смешанном сосновом бору Темерчинского лесничества и двух припоселковых кедровниках Томской области, расположенных на противоположных сторонах р. Томь, различающихся по показателям почвенного покрова и составу наземной растительности, степени и причинам нарушенности территории.

Методики. Сбор эктомикориз проводили в трех удаленных друг от друга биотопах южной тайги Томской области с мая по сентябрь 2016–2018 гг. Это: 1. Припоселковый кедровник деревни Лоскутово, кедровый разнотравный лес. 2.

Тимирязевский бор, сосновый разнотравно-зеленомошный лес с подростом кедра и березы. 3. Припоселковый кедрач деревни Зоркальцево, кедровник мелкотравный.

Сеянцы кедра извлекали из почвы с максимально ненарушенной корневой системой. В местообитаниях с отсутствием подроста (Зоркальцево) отбирали блоки почвы размером 10×10×20 см в пределах проекции кроны зрелых деревьев согласно методике концентрического отбора проб [11]. Корни промывали проточной водой, резали на отрезки 3–5 см, живые и функционирующие эктомикоризные окончания отделяли под лупой пинцетом и ножницами. Морфотипирование проводили при помощи бинокулярного микроскопа Zeiss Stemi 2000-C с камерой AxioCam ER 5s [4]. Отобранные эктомикоризы фотографировали и фиксировали в 70%-м этаноле.

Статистическую обработку данных проводили при помощи одно- и двухфакторного анализа ANOVA, одномерного дисперсного анализа, одно- и многофакторной модели дисперсионного анализа (Statistica 10), The R Project for Statistical Computing.

Результаты и обсуждения. Выявлено, что частота встречаемости контактной трофической стратегии в Зоркальцево в 1,5 и 2 раза больше, чем в Лоскутово и Тимирязево, и составляет 67 % зарегистрированных морфотипов при 44 % в Лоскутовском кедраче и 32 % в Тимирязево. Зафиксировано минимальное распространение Medium Distance fringe/mat exploration type в Зоркальцево, 5 %. В Лоскутово зарегистрирована минимальная встречаемость Medium Distance smooth exploration type, 6 %. Окончания с Medium Distance smooth и fringe/mat в Тимирязево встречаются в 2 раза реже, чем Contact и Short Distance exploration type. Минимальная встречаемость, 1–3 % во всех изученных биотопах, зарегистрирована для трофической стратегии Long Distance Exploration type (согласно R Pearson's Chi-squared test, X-squared = 22,587, df = 6, p-value = 0,0009472).

Данное исследование выявило высокую частоту встречаемости контактных эктомикориз в фитоценозе с максимальной густотой стояния деревьев – в кедраче пос. Зоркальцево (0,8–0,9). В Тимирязево, с наибольшим распространением стратегии со средней дистанцией действия (Medium distance exploration type), индекс сомкнутости крон составляет 0,5–0,6. Нарушенность структуры почвенного покрова в Зоркальцево также препятствует распространению там эктомикориз с «длинной дистанцией действия» (Long distance exploration type). Этому типу, формирующему значительную систему внешних гиф, требуются существенные временные и углеродные ресурсы для восстановления после повреждения, поэтому в нарушенных экосистемах деревья-хозяева предпочитают виды грибных симбионтов с трофической специализацией, потребляющей меньше углерода [7, 8]. Кроме того, расположение корней на значительном расстоянии затрудняет распространение грибных симбионтов с более короткой дистанцией действия посредством мицелия, в то время как типы Medium и Long distance находят и микоризуют корни на большом расстоянии от дерева-хозяина. По мере того как расположение корней становится более плотным, стратегии Contact и Short distance становятся более выгодными для растительного симбионта с точки зрения потребления макромицетом углерода.

Поскольку адаптивные способности корневой системы деревьев ограничены их генотипом, приспособление к условиям конкретного местообитания происходит за счет формирования симбиоза с наиболее эффективным грибным симбионтом. Именно с помощью определенных видов грибов-микоризообразователей дерево выбирает стратегию для получения необходимых ему элементов питания. По-видимому, такие большие возможности взаимодополняющего использования гидрофильного и гидрофобного мицелия с разной ферментативной активностью и разной дистанцией

действия дерево использует для быстрого реагирования на изменения условий его произрастания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кедр* сибирский / Р.Н. Иванова. Иркутск: Иркутское книжное издательство, 1958. 97 с.
2. *Вайшля О.Б., Данченко А.М., Дементьева А.Г.* Микотрофность подроста *Pinus sibirica* Du Tour в подзоне южной тайги Томской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. 1 (8). С. 1963–1967.
3. *Agerer R.* Fungal relationships and structural identity of their ectomycorrhizae // Mycological Progress. 2006. 5: 67–107.
4. *Agerer R.* Colour Atlas of Ectomycorrhizae. Einhorn-Verlag, Schwabisch Gmund, 1996–2008.
5. *Hortal S., Pera J., Parladé J.* Tracking mycorrhizas and extraradical mycelium of the edible fungus Lactarius deliciosus under field competition with Rhizopogon spp. // Mycorrhiza. 2008. 18 (2): 69–77. https://doi.org/10.1007/s00572-007-0160-3.
6. *Griffiths R.P., Castellano M.A., Caldwell B.A.* Hyphal mats formed by two ectomycorrhizal fungi and their association with Douglas-fir seedlings: A case study // Plant and Soil. 1991. 34 (2): 255–259. https://doi.org/10.1007/BF00012043.
7. *Lileskov E.A., Hobbie E.A., Horton T.R.* Conservation of ectomycorrhizal fungi: exploring the linkages between functional and taxonomic responses to anthropogenic N deposition // Fungal ecology. 2011. 4: 174–183.
8. *Põldmaa K., Bahram M., Tedersoo L., Kõljalg U., Naadel T., Leal M.* Enzymatic activities and stable isotope patterns of ectomycorrhizal fungi in relation to phylogeny and exploration types in an afrotropical rain forest // New Phytologist. 2012. 195: 832–843.
9. *Ostonen I., Lõhmus K., Lasn R.* The role of soil conditions in fine root ecomorphology in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) // Plant and Soil.1999. 208: 283–292. DOI: 10.1023/A:1004552907597
10. *Roman M.A*. Revision of the descriptions of ectomycorrhizas published since 1961 // Mycology research. 2005. 109 (10): 1063–1104.
11. *Smith S.E., Smith F.A.* Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales // Annual Review of Plant Biology. 2011. 62: 227–250.
12. *Vaishlya O.B., Kudashova N.N., Gashkov S.I., Karbysheva K.S., Bakhtinskaya I.A.* First list of macromycetes forming ectomycorrhizas in cedar and pine forests of Tomsk region of West Siberia // International Journal of Environmental Studies. 2017. 74 (5): 752–770. DOI: 10.1080/00207233.2017.1294422.
13. *Vaishlya O.B., Karbysheva K.S., Sarsekova D.N., Aidarkhanova G.A.* Ecological Aspects of Pinus sibirica Du Tour Mycotrophy in Forest Ecosystems of West Siberia // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., Yurga, Nov. 4–6, 2018. DOI: 10.1088/1755-1315/224/1/012049.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ № 15-29-02588.

УДК 631.46

ВТОРЫЕ ГУМУСОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ КАК ЭТАП ПИРОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИОБСКИХ БОРОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

В.С. КАРЕЛИНА, А.Д. ВЛАСОВА, А.В. ОРЛОВ

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия (pochva22@mail.ru)

Низовые лесные пожары участвуют в формировании вторых гумусовых горизонтов при активизации дефляции легких песчаных дерново-подзолистых почв. Закрепление гумуса происходит из-за увеличения коэффициента гумификации ПФО/ПО. Наличие вторых гумусовых горизонтов с включениями древесного угля в нетронутых пожаром почвах указывает на пирогенез в прошлые этапы функционирования ландшафта.

THE SECOND HUMUS HORIZONS OF SOD-PODZOLIC SOILS AS PART OF THE PYROGENIC TRANSFORMATION OF THE HOG OB OF THE ALTAI TERRITORY

V.S. KARELIN, A.D. VLASOVA, A.V. ORLOV

Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia (pochva22@mail.ru)

Grassroots forest fires are involved in the formation of the second humus horizons, with the activation of deflation of light, sandy sod-creeping soils. Fixing humus is due to an increase in the coefficient of humification of PFD/PO. The presence of the second humus horizons with inclusions of charcoal in the soils untouched by fire indicates pyrogenesis in the past stages of the landscape functioning.

Введение. Лесной пожар является сложным комплексом физических и химических процессов, влияющих на все уровни экосистемы, значительно изменяющих биохимию, морфологию почвы, ее физико-химические свойства. Лесные пожары относятся к непериодическим экологическим факторам, появляющимся внезапно и изменяющим динамику и направленность функционирования локальной экосистемы [5].

Постоянно повторяющиеся лесные пожары являются мощным, многогранным фактором, изменяющим характер почвообразовательного процесса, направленность, скорость эволюции. Последствия пирогенеза объединяются в две большие группы – пирогенная трансформация отдельных свойств почв (изменения касаются лишь дневных почвенных горизонтов) и пирогенная трансформация процесса почвообразования (при значительных органодеструктивных изменениях почв) [2].

Стоит отметить, что именно почва, ее морфологические, биологические, физико-химические особенности обусловливают процесс естественного восстановления поврежденных экосистем. Почва определяет тип растительности, динамику сукцессионных процессов [3]. При понимании функционирования почвы в период постпирогенной трансформации ландшафта появляется возможность разработки системы рационального природопользования территории, поврежденной лесными пожарами.

Методика исследований. Объектами нашего исследования являются дерново-подзолистые почвы, распространенные в пределах Приобского бора Алтайского края. В ходе работы была заложена серия почвенных разрезов в Приобском бору на пирогенной сукцессии гари низового пожара 2004 года, а также на незатронутых лесными пожарами почвах.

Главная порода на территории исследований – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), состав древостоя 10С, 8С1Б1Ос. На горельнике проводится искусственное лесовосстановление, однако его качество оценивается как неудовлетворительное.

Исследования проводили на плакоре с выраженным западинным микрорельефом. В ходе работы согласно общепринятым методикам [1] изучали морфологию почв, основные агрохимические показатели, биохимический потенциал по активности каталазы, протеазы и уреазы, уровень активности ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы, участвующих в синтезе и разложении гуминовых кислот [4]. Видовую принадлежность включений древесного угля устанавливали по кажущейся плотности.

Результаты исследований. Исследование морфологии почв горельника показало, что на локальных повышенных элементах водораздела выгорание значительной части лесной подстилки и дернового горизонта приводит к активизации дефляционных процессов легких по гранулометрическому составу почв.

В ходе работы был вскрыт почвенный профиль неглубокоподзолистой почвы с погребенным вторым гумусовым горизонтом светло-серого цвета, отмечающегося пятнами, наличие которого подтверждают данные анализа на содержание гумуса. В погребенном гумусированном слое почвы его содержание составляет 1,29–1,45 %. Мощность навеянного слоя почвы песчаного гранулометрического состава, залегающего над прослойкой конкреций включений древесного угля в западинах, микропонижениях, через 14 лет после низового пожара составляет 10–17 см. Дерновый и гумусово-аккумулятивный горизонт отсутствуют, лесная подстилка находится в зачаточном состоянии.

Сохранность погребенного гумусового горизонта в профиле почвы на фоне подзолистого горизонта обеспечивается изменением количественного и качественного состава микрофлоры как следствие биохимической активности. В погребенных вторых гумусовых горизонтах пирогенных почв водораздела Приобского бора происходит снижение интенсивности окисления гумуса за счет увеличения соотношения полифенолоксидазы к пероксидазе (ПФО/ПО) до 0,70 по сравнению с 0,20–0,25 в гумусово-аккумулятивных горизонтах фоновых почв.

Изменение активности ПФО и ПО в профиле погребенной дерново-подзолистой почвы в результате развития дефляции при выгорании лесной подстилки, дернового и маломощного гумусо-аккумулятивного горизонта приводит к формированию вторых гумусовых горизонтов.

В целом пирогенные почвы водоразделов подвержены более интенсивной трансформации не только в морфологическом строении (появлении погребенного второго гумусового горизонта), но и в биохимическом потенциале. По всему профилю отмечена сниженная активность каталазы и уреазы, а протеазная активность повышена по сравнению с фоновыми почвами.

В межгривных понижениях не отмечено развития эрозионных процессов при пирогенной трансформации ландшафта. Морфология почвы изменяется незначительно, она соответствует представлениям о типичной дерново-подзолистой почве песчаного гранулометрического состава. Полагаем, что это связано с лучшими гидрологическими условиями и большей мощностью уцелевшего дернового горизонта в сравнении с почвами плакора.

В период постпирогенной трансформации ландшафта почвенные разности пониженных и повышенных элементов рельефа значительно отличаются по биогенности. Наивысший биохимический потенциал суммарной активности каталазы, уреазы и протеазы отмечается в гумусовых горизонтах дерново-подзолистой почвы межгривных понижений.

В пределах нетронутого пожаром Приобского бора была вскрыта дерново-глубокоподзолистая почва с двумя вторыми гумусовыми горизонтами, залегающими в толщи элювиального белесого горизонта на глубине 36 см и 67 см соответственно. Над вторыми гумусовыми горизонтами обнаружены включения древесного угля различной

степени окатанности и размера. По кажущейся плотности (0,29 г/см^3) установлено, что уголь состоит из обугленной древесины сосны обыкновенной – главной породы территории. Мощность дневного гумусово-аккумулятивного горизонта с содержанием гумуса 3,5 % составляет 22 см, что указывает на длительный период его формирования.

Полагаем, что наличие вторых гумусовых горизонтов в профиле дерново-подзолистых почв указывает на воздействие низового пожара на почву в прошлом и носит не однократное, а пролонгированное действие, изменяющее морфологическое строение почвы и вносящее коррективы в ее эволюцию. Вторые гумусовые горизонты залегают на различной глубине от 12 см до 67 см в виде линз и сплошных горизонтов.

Заключение. В результате исследований установлено, что воздействие низовых лесных пожаров на территории Приобского бора Алтайского края приводит к развитию дефляции легких песчаных дерново-подзолистых почв плакора. При выраженном западинном микрорельефе формируются вторые гумусовые горизонты вследствие перекрытия эоловыми наносами остатков гумусово-аккумулятивных горизонтов дерново-подзолистых почв понижений. Сохранность второго гумусового горизонта на фоне подзолистой толщи почвенного профиля обусловливается изменением биохимического потенциала и повышением соотношения активности полифенолоксидазы к пероксидазе – ферментов, катализирующих окисление и синтез гумуса.

Наличие вторых гумусовых горизонтов с включениями древесного угля в зональных почвах Приобского бора, нетронутого низовыми лесными пожарами, при мощном, развитом верхнем гумусово-аккумулятивном и дерновом горизонтах указывает на пирогенез данных почв в прошлом. Таким образом, действие лесного пожара на дерново-подзолистую почву наблюдается длительное время и отражается в изменении строения почвенного профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 480 с.
2. *Тихнев Е.А.* Роль пирогенного фактора в формировании лесного покрова побережья Тауйской губы // Вестник Северо-Восточного государственного университета. 2009. Т. 11. № 11. С. 85–91.
3. *Трофимов И.Т.* Особенности послепирогенной трансформации дерново-подзолистых почв юго-западной части ленточных боров Алтайского края / Трофимов И.Т., И.Ю. Бахарева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. 11 (37). С. 31–38.
4. *Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 1990. 189 с.
5. *Чевычелов А.П.* Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 273–277.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-34-00421, мол_а).

УДК 630*11+57.087.1

О ВЫБОРЕ ПЕРЕМЕННЫХ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЯХ УСЫХАНИЯ ДЕРЕВЬЕВ

А.В. КАЧАЕВ

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (avkachaev@gmail.com)

Предлагается новый подход в формировании переменных для логистических регрессионных моделей усыхания деревьев с использованием системы непересекающихся окон на основе прироста древесных колец.

ON THE CHOICE OF VARIABLES IN LOGISTIC REGRESSION MODELS OF MORTALITY OF TREES

A.V. KACHAEV

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (avkachaev@gmail.com)

A new approach to the formation of variables for logistic regression models of shrinking trees using a system of non-overlapping windows based on the growth of tree rings is proposed.

Метрические измерения прироста древесных колец являются биоиндикационными интегрированными показателями абиотических и биотических процессов, происходящих в лесных экосистемах [1].

Выделим три этапа при формировании переменных для логистических регрессионных моделей усыхания деревьев с использованием прироста – выбор типа дендрохронологического ряда (прирост, базальная площадь), варианта статистики (среднее, медиана, индекс роста и др.) и вычисление этих статистик в «окнах» за последние N (5, 10, …, 40: с шагом 5) лет [2]. Таким образом, определенная система вложенных окон предполагает поиск разделяющей функции (разделения, логистики) по статистикам за периоды, когда одни деревья усыхают, а другие продолжают расти.

Нами предлагается новый подход в формировании переменных с использованием некоторой (для примера среднего, медианы и т. д.) статистики и вычисления ее в разных непересекающихся окнах. Таким образом, происходит поиск разделяющей функции роста для усыхающих и живых деревьев в разные периоды роста деревьев.

Различие подходов в выборе переменных для логистических регрессионных моделей покажем на примере южного бука (*Nothofagus dombeyi*) [3] и данных прироста годичных колец бука, находящихся в открытом доступе [4]. Исходные данные представлены в количестве 43 рядов прироста годичных колец живых и 43 рядов мертвых деревьев.

Для построения логистических регрессионных моделей выберем ряды приростов живых и мертвых деревьев за последний 31 год.

Средний прирост по группе живых деревьев – **lave** – расположен выше среднего прироста по группе мертвых деревьев, **dave**, что согласуется с ростом данных групп деревьев. Коридоры разброса максимального и минимального прироста по группе живых деревьев (lmax, lmin) и мертвых деревьев (dmax, dmin) пересекаются, что затрудняет сделать визуальный вывод о разбиении на две группы (живые и мертвые) по графикам прироста.

Традиционно для поиска логистических регрессионных моделей используют окна размером от 5 до 40 лет с шагом 5 [4]. Для рассматриваемых рядов с длиной в 31 год это следующие размеры окон: 5, 10, 15, 20, 25, 30, т. е. всего 6 размеров окон. Пусть W – множество нечетных чисел от 5 до 31, где $|W| = 14$. Вычислим общее число окон,

имеющих нечетный размер, от 5 до 31 года и покрывающее 31 год по формуле $\sum_{w \in W}(31 - w + 1)$ оно равно 194.

Построим логистические регрессионные модели [5] от одной переменной с использованием статистики среднего в окнах из множества W.

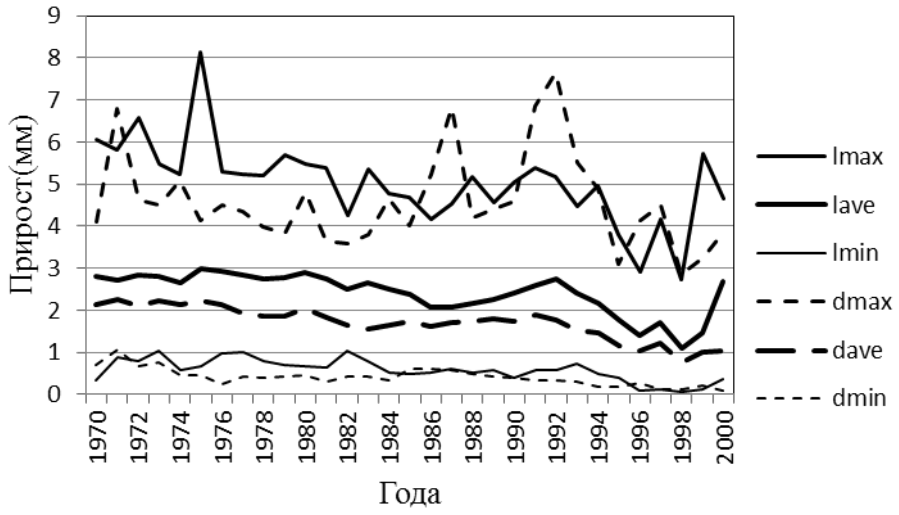


Рис. 1. Средний прирост по группам живых и мертвых деревьев

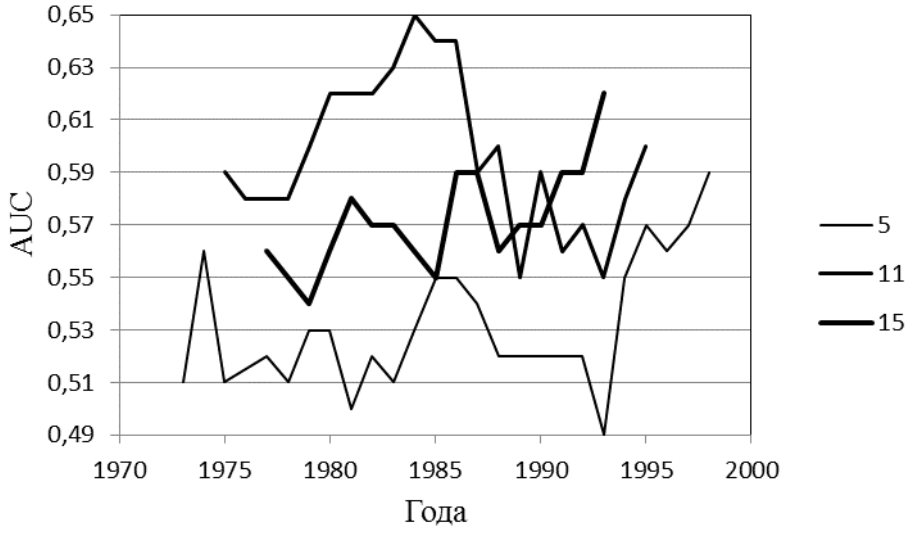


Рис. 2. Значения AUC для логистических регрессионных моделей от одной переменной с использованием статистики среднего в окнах размером 5, 11 и 15

Максимальное значение AUC [5] для всех вариантов счета на рис. 2. найдено для окна в 11 лет с центром в 1984 году и равно 0,65. Для выбранных традиционных окон 5, 11 и 15 значение AUC равно соответственно 0,59, 0,6 и 0,62, что указывает на использование расширенного варианта выбора окон.

Далее проведем поиск логистических регрессионных моделей от двух переменных по всем парам непересекающихся окон с вычислением среднего в каждом окне. Поиск моделей ограничим условием на значения чувствительности и специфичности [5] не менее чем 0,75 каждое значение.

В результате расчетов найдено 137 пар окон. Значения AUC лежат в пределах от 0,77 до 0,82, что относится к разделению от приемлемого до отличного по классификации, представленной в работе [6].

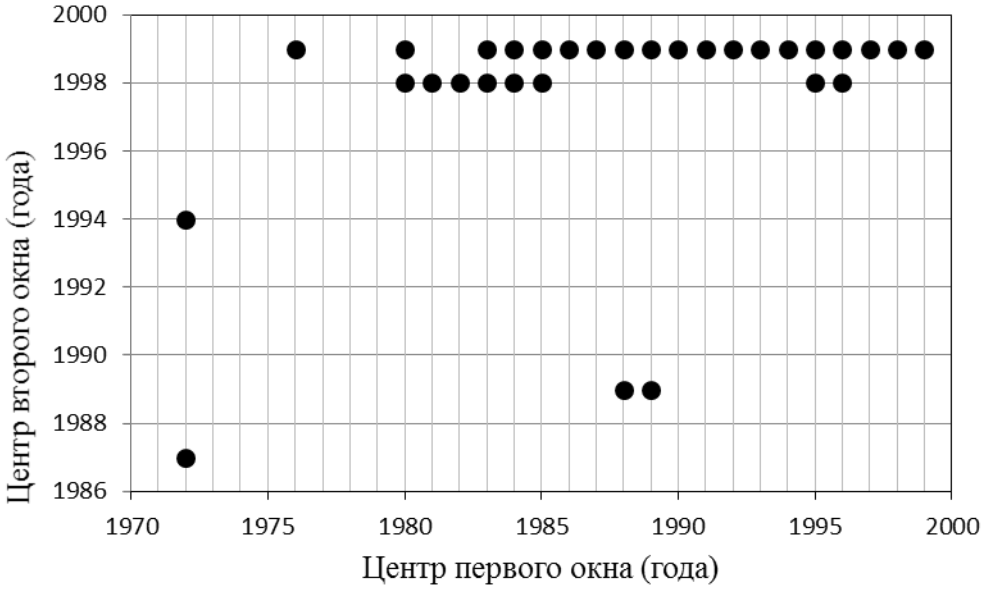


Рис. 3. Распределение центров непересекающихся пар окон для моделей от двух переменных

Вывод: использование непересекающихся окон при формировании переменных в логистических регрессионных моделях существенно расширяет выбор моделей для интерпретации динамики роста групп живых и усыхающих деревьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Speer J.H*). Fundamentals of Tree-Ring Research. University of Arizona Press, 2010. P. 368.
2. *Das A.J., Battles J.J., Stephenson N.L., van Mantgem P.J.* The relationship between tree growth patterns and likelihood of mortality: a study of two tree species in the Sierra Nevada. Canadian Journal of Forest Research. 2007. 37: 580–597.
3. *Suarez M.L., Ghermandi L., Kitzberger T.* Factors predisposing episodic drought-induced tree mortality in Nothofagus – site, climatic sensitivity and growth trends. Journal of Ecology. 2004. 92: 954–966.
4. *Cailleret M., Bigler C., Bugmann H., Camarero J.J., Cˇufar K., Davi H., … Martínez-Vilalta J.* Towards a common methodology for developing logistic tree mortality models based on ring-width data. Ecological Applications. 2016. 26 (6). 1827–1841. https://doi.org/10.1890/15-1402.1.
5. *Kabacof, R.* R in Action, Second Edition. Manning Publications. 2014. P. 628.
6. *Hosmer D.W., Lemeshow S.* Applied logistic regression. John Wiley & Sons, New York, 2000.

УДК 632.7:58.082.115

СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕГРАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К ДИАГНОСТИКЕ И ИЗУЧЕНИЮ ИСТОРИИ ИНВАЗИЙ МИНИРУЮЩИХ НАСЕКОМЫХ – ВРЕДИТЕЛЕЙ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В СИБИРИ

Н.И. КИРИЧЕНКО

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (nkirichenko@yahoo.com)

В работе обсуждаются современные подходы, базирующиеся на интеграции методов молекулярной генетики, морфологии и экологии для быстрой и точной диагностики видов растительноядных насекомых и изучения истории их инвазий.

MODERN INTEGRATIVE APPROACHES TO THE DIAGNOSTICS AND THE STUDY OF INVASION HISTORY OF LEAFMINING INSECTS DAMAGING WOODY PLANTS IN SIBERIA

N. I. KIRICHENKO

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc, Krasnoyarsk, Russia (nkirichenko@yahoo.com)

The modern integrative approaches based on molecular genetics, morphology and ecology are discussed allowing quick and accurate identification of phytophagous insect species and studying their invasion histories.

Оперативная и точная идентификация насекомых-вредителей древесных растений, в особенности инвазивных видов, – первостепенный и важный этап при ведении карантинных досмотров и реализации программ по защите растений. Учитывая высокое таксономическое богатство насекомых и недостаточную изученность их биоразнообразия, определение многих видов является непростой задачей. Детерминация видов становится еще более проблемной, когда речь идет о преимагинальных стадиях развития насекомых – личинках и куколках, – малоизученных и чаще всего не имеющих надежных морфологических диагностических признаков. Вместе с тем именно эти стадии насекомых чаще всего и встречаются на растениях.

Молекулярно-генетический подход, ДНК-баркодирование (или ДНК-штрихкодирование), – современный инструмент, позволяющий быстро и точно идентифицировать виды насекомых на любых стадиях развития. Он базируется на прочтении унифицированного фрагмента ДНК (гена COI митохондриальной ДНК), имеющего высокое сходство (или идентичность) у особей одного вида и достоверное различающегося у особей разных видов.

Эталонные библиотеки ДНК-баркодов насекомых могут значительно облегчить региональные инвентаризации и ускорить обнаружение инвазивных видов – на ранних этапах их появления в новой среде. Создание и пополнение таких библиотек имеет важное фундаментальное и практическое значение.

Наши исследования посвящены минирующим насекомым – экологической группе членистоногих, личинки которых повреждают листовой аппарат растений: выедают хлорофиллоносные ткани листьев/хвои, не повреждая эпидермис, защищающий насекомых от воздействий внешней среды. Эта обширная группа насекомых представлена видами четырех отрядов – бабочек, жуков, перепончатокрылых и мух. Среди них известно немало насекомых, повреждающих древесные растения в природе и урбанизированных экосистемах, а также видов чужеродного происхождения [3]. На протяжении десяти лет нами ведется работа по ДНК-баркодированию минирующих насекомых всех четырех отрядов, населяющих древесные растения в Сибири – от Тюменской области до Забайкальского края. За десятилетний период было создано 14

молекулярно-генетических библиотек, насчитывающих около 1000 секвенированных последовательностей гена COI. При этом многие виды были нами дополнительно детерминированы по морфологическим признакам, что усиливает ценность ДНК-библиотек и позволяет использовать их в качестве референсных при идентификации местных и инвазивных видов. Десять из 14 библиотек опубликованы в открытой печати и имеют свободный доступ для использования и скачивания секвенированных последовательностей. Список работ и адреса открытых библиотек см. в обзоре [1]. Благодаря ДНК-баркодингу в Сибири выявлено и описано три новых для науки вида минирующих молей на древесных растениях [4–6].

ДНК-баркодирование, помимо использования для диагностики видов, находит широкое применение при изучении филогеографии насекомых – исследовании принципов и процессов их распространения. Филогеографические работы базируются на сравнении генетических характеристик географических популяций насекомых, что позволяет устанавливать первичный и вторичный ареалы видов, выявлять регионы-доноры инвазивных популяций и определять маршруты экспансии видов. Анализ филогеографии липовой минирующей моли *Phyllonorycter issikii* Kumata (Lepidoptera: Gracillariidae) – инвазивного вредителя лип в Сибири, европейской части России и стран Европы, – выполненный на обширной выборке (около 400 образцов, собранных в 65 точках в 16 странах в современном ареале вида в Палеарктике), позволил выявить генетическую структуру разных географических популяций вида [2]. Он также позволил установить, что значительный вклад в экспансию вида на запад Палеарктики привнесли популяции насекомого из Японии. Было высказано предположение, что инвазия моли в Сибирь произошла не из первичного ареала (Восточной Азии), а из очагов инвайдера в европейской части России [2]. Тем не менее, в истории инвазии вида на запад Палеарктики все еще имеется ряд белых пятен. В частности, остается неясным, почему генетический полиморфизм в современных популяциях моли в регионах инвазии выше такового в Восточной Азии – предполагаемом первичном ареале вида – и какие еще регионы Восточной Азии участвовали в экспансии вида.

Для ответа на этот вопрос мы обратились к архивным данным – вековым гербарным коллекциям. Возможность использования гербарных коллекций в решении задач инвазивной экологии, в особенности для изучения распространения чужеродных фитотрофных видов членистоногих, долгое время не рассматривалась [8]. Вместе с тем гербарные образцы, собранные с растений из разных уголков мира за продолжительные отрезки времени (столетия), могут хранить ценные сведения о ранних ареалах вредителей и последующем расширении границ их обитания. Они также могут служить уникальным источником биологического материала – особи скрытоживущих насекомых, в частности, минирующих видов могут быть обнаружены в своих убежищах (минах) на гербаризированных листьях даже по прошествии столетий [7]. Развитие методов молекулярной генетики открывает колоссальные возможности изучения архивных образцов насекомых. Ультрачувствительный метод секвенирования нового поколения (СНП), успешно работающий с низкими концентрациями и значительно деградированной ДНК, позволяет получать максимально информативный пул генетических данных в сравнении с тем, который нарабатывается с использованием классического метода ДНК-баркодирования (с секвенированием по методу Сэнгера), чувствительного к качеству и количеству первичного генетического материала [8].

Нами ведется анализ крупнейших в мире гербарных коллекций липы для получения ретроспективных данных о первичном ареале липовой моли и прояснения истории распространения вида в Палеарктике. На сегодняшний день обработано более 10 тысяч гербарных листов с образцами липы, датируемыми XVIII–XXI веками и хранящимися в депозитариях отечественных и зарубежных музеев и научных центров.

По разрешению кураторов гербарных коллекций был проведен отбор проб – гусениц и куколок – из мин на гербаризированных листьях липы для дальнейших молекулярно-генетических исследований с применением СПН. Собраны любопытные данные об историческом ареале вида в Восточной Азии, выявлены новые регионы его распространения здесь в прошлом, получены данные, косвенно свидетельствующие о повышении численности вида в регионах, откуда о вспышках вида никогда не было известно из литературы. Также получены новые сведения об истории распространения вида в Сибирь, европейскую часть России и Европу. В настоящее время ведется работа по секвенированию архивных образцов липовой моли для составления генетического портрета вредителя в прошлом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кириченко Н.И., Акулов Е.Н., Пономаренко М.Г., Лопез-Ваамонде К.* Молекулярно-генетическая каталогизация минирующих молей-пестрянок Gracillariidae (Lepidoptera) Азиатской части России и прилегающих территорий // Чтения памяти А.И. Куренцова, 2019. 30. С. 51–62.
2. *Kirichenko N., Triberti P., Ohshima I., Haran J., Byun B.-K., Li H., Augustin S., Roques A., Lopez-Vaamonde C.* From east to west across the Palearctic: phylogeography of the invasive lime leaf miner *Phyllonorycter issikii* (Lepidoptera: Gracillariidae) and discovery of a putative new cryptic species in East Asia // PLoS ONE. 2017. 12 (2), e0171104.
3. *Kirichenko N., Augustin S., Kenis M.* 2018. Invasive leafminers on woody plants: a global review of pathways, impact and management // Journal of Pest Science. 2018. 92 (1). C. 93–106.
4. *Kirichenko N., Triberti P., Kobayashi S., Hirowatari T., Doorenweerd C., Ohshima I., Huang G-H., Wang M., Magnoux E., Lopez-Vaamonde C.* Systematics of *Phyllocnistis* leaf-mining moths (Lepidoptera, Gracillariidae) feeding on dogwood (*Cornus* spp.) in Northeast Asia, with the description of three new species // ZooKeys. 2018. 736. P. 79–118.
5. *Kirichenko N., Triberti P., Lopez Vaamonde C.* New species of leaf-mining *Phyllonorycter* (Lepidoptera Gracillariidae) from Siberia feeding on *Caragana* (Fabaceae) // Zookeys. 2019. 835. P. 17–41.
6. *Kirichenko N., Triberti P., Mutanen M., Magnoux E., Landry J.-F., Lopez-Vaamonde C.* Systematics and biology of some species of *Micrurapteryx* Spuler (Lepidoptera, Gracillariidae) from the Holarctic Region, with re-description of *M. caraganella* (Hering) from Siberia // Zookeys. 579. P. 99–156.
7. *Lees D.C., Lack H.W., Rougerie R., Hernandez A., Raus T., Avtzis N.D., Augustin S., Lopez-Vaamonde C.* Tracking origins of invasive herbivores using herbaria and archival DNA: the case of the horse-chestnut leafminer // Frontiers in Ecology and the Environment. 2011. 9: 322–328.
8. *Staats M., Erkens R.H.J., van de Vossenberg B., Wieringa J.J., Kraaijeveld K., Stielow B., Geml J., Richardson J.E., Bakker F.T.* Genomic treasure troves: complete genome sequencing of herbarium and insect museum specimens // PLoS ONE. 2013. 8 (7), e69189.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор благодарен многим коллегам из России и зарубежных стран за сотрудничество и помощь, Ю.Н. Баранчикову (Красноярск) за полезные советы и дискуссии. На разных этапах работа была поддержана фондами: РФФИ (гранты № 15-29-02645 офи_м, 19-04-01029-А), Посольством Франции в Москве (Программа Вернадский, грант No. 908981L, Кампус Франс), французским фондом Ле Студиум, Le Studium и программой Евросоюза COST Action FP1401 «Глобальное предупреждение: глобальная сеть плантаций как система раннего выявления чужеродных вредителей на древесных растениях».

УДК 581.143+ 58.01/.07 (571.51)

СКОРОСТЬ РОСТА ПО ДИАМЕТРУ СТВОЛОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ Г. КРАСНОЯРСКА

Ю.В. КЛАДЬКО[1], В.Е. БЕНЬКОВА[1], Л.Н. СКРИПАЛЬЩИКОВА[1], А.Н. ТАШЕВ[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (KladaJ@mail.ru)
[2] Лесотехнический университет, София, Болгария (altashev@mail.ru)

Изучены ходы роста стволов древесных растений, произрастающих в антропогенно измененных условиях г. Красноярска. На основании измеренной ширины годичных колец выявлены особенности динамики роста по диаметру стволов восьми видов древесных растений, произрастающих на пробных площадях, которые отличаются между собой степенью техногенного загрязнения.

GROWTH RATE ON DIAMETER OF WOOD GROWTH DIAMETERS IN KRASNOYARSK GREEN PLANTS

Yu.V. KLADKO[1], V.E. BENKOVA[1], L.N. SKRIPALSHCHIKOVA[1], A.N. TASHEV[2]

[1] V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (KladaJ@mail.ru)
[2] University of Forestry, Department of Dendrology, Sofia, Bulgaria (altashev@mail.ru)

The research undertaken for this study focused on peculiarities in stem diameter growth process in eight woody species widely used in urban community gardening in Siberia. The purpose of the study was to estimate tolerance of the species to industrial pollutions using time series of stem diameter.

Цель исследования состояла в выявлении особенности динамики роста по диаметру стволов у представителей видов древесных растений, часто используемых в озеленении г. Красноярска и находящихся под воздействием промышленных и автотранспортных выбросов разной интенсивности.

Исследования проводились в условиях Красноярска (56°00′43″ с. ш., 92°52′17″ в. д.). В соответствии с целью исследования нами было выделено 6 пробных площадок (ПП), из которых сформировано 4 группы:

1. Очень высокий уровень техногенного загрязнения (промышленное загрязнение): ПП, находящиеся в зоне влияния предприятий цветной металлургии (ПП «КрАЗ»), химической промышленности и теплоэнергетического комплекса (ПП «КрасТЭЦ»).

2. Высокий уровень техногенного загрязнения (автотранспортное загрязнение): ПП «Центр», основным источником загрязнений является автотранспорт.

3. Незначительнее техногенное загрязнение (условно чистые ПП): «Ветлужанка» и «Академгородок», незначительное техногенное загрязнение на них обусловлено автомобильным движением средней интенсивности.

4. Минимальный уровень техногенного загрязнения (фоновая ПП): «165», заложенная в 165 км к северу от Красноярска, в лесном массиве, вдали от предприятий, населенных пунктов и автомагистралей.

При разбивке ПП на группы учитывались литературные данные о степени загрязнения города [1, 2].

Объектами исследования служили представители 8 видов древесных растений, широко использующихся в озеленении г. Красноярска: сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L., ель колючая *Picea pungens* Engelm., береза повислая *Betula pendula* Roth, ильм (вяз) приземистый *Ulmus pumila* L., тополь бальзамический *Populus balsamifera* L., рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L., черемуха Маака *Prunus maackii* Rupr., яблоня ягодная *Malus baccata* (L.) Borkh..

На каждой ПП было отобрано по 10 модельных деревьев каждого вида, на ней произрастающего. С каждой модели буравом Пресслера было отобрано по одному

керну на высоте 1,3 метра от поверхности почвы. Всего для исследований было отобрано 370 кернов. Датировка и измерение ширины годичных колец проводились с точностью до 0,01 мм на полуавтоматической установке LINTAB-V 3.0 Frank Rinn, Rinntech (Германия) со стандартным пакетом программного обеспечения TSAP-V 3.5. Точность датировки годичных колец проверялась в программе COFECHA.

Ежегодные значения диаметра ствола каждого модельного дерева от момента посадки до момента наблюдения реконструировали, просуммировав измеренные данные ширины последовательных годичных колец. Усреднив полученные значения по моделям, получили средние кривые хода роста по диаметру, характеризующие определенный вид на каждой пробной площадке. По этим кривым приблизительно оценивали среднюю скорость роста по диаметру, характерную для определенного временного периода.

Средние кривые хода роста по диаметру, представляющие виды древесных растений на исследованных пробных площадках, приведены на рис. 1.

В результате исследований выявлено, что зависимость «чем выше степень техногенного загрязнения в месте произрастания на урбанизированной территории, тем ниже интенсивность роста древесных растений по диаметру ствола» выполняется не во всех случаях. Установленная зависимость выполняется для изученных нами двух видов сем. Pinaceae – *P. sylvestris* и *P. pungens*. Сосна обыкновенная, как известно, очень чувствительна к промышленному загрязнению и по этой причине редко используется в посадках внутри городской территории, но в окраинных и пригородных искусственных и естественных насаждениях встречается часто. По результатам нашего исследования, ель колючая также чувствительна к загрязнению места произрастания, в особенности в молодом возрасте (рис. 1б), но на участках с незначительным техногенным загрязнением отмечено резкое повышение скорости роста по диаметру у деревьев этого вида. Из видов, относящихся к двудольным лиственным, указанная зависимость характерна только для *Populus balsamifera*. Ингибирующее влияние на интенсивность радиального прироста деревьев этого вида оказывают выбросы в атмосферу предприятий цветной металлургии. На окраинах города в условно чистых местах произрастания для *P. balsamifera* характерен стабильный рост.

Для остальных пяти видов упомянутая зависимость не выполняется по следующим причинам.

Для *B. pendula* установлено, что неблагоприятные для произрастания ценотические условия даже в условно чистых местах на окраинах могут дать отрицательный эффект, сравнимый с воздействием значительной техногенной нагрузки.

P. maackii, являющаяся представителем дальневосточной флоры, растет на всех ПП с довольно низкой скоростью независимо от интенсивности загрязнения атмосферы, что характеризует ее как нечувствительный к техногенному загрязнению вид. В то же время она высокочувствительна к агротехническим приемам в первые годы после пересадки, что обеспечивает стабильный рост стволов по диаметру в условиях интенсивного загрязнения от автотранспорта и высокой рекреационной нагрузки.

Использование высококачественного посадочного материала *S. aucuparia* и *M. baccata* и интенсивных агротехнических приемов в течение первых 4 лет жизни в местах с очень высокой техногенной (атмосферные выбросы предприятий цветной металлургии, загрязнение от автотранспорта) и рекреационной нагрузкой могут обусловливать стабильно высокую интенсивность роста в диаметре с момента посадки и в течение 10–15 лет. Отмечена особенность влияния на *P. pungens*, *B. pendula* и *S. aucuparia* условий мест произрастания, находящихся в зоне выбросов тепловых

электростанций: скорость роста в последнем десятилетии увеличилась по сравнению с предыдущим периодом роста. Это можно объяснить, вероятно, введением на ТЭЦ современных высокоэффективных технологий очистки выбросов. На площадках в районе с хроническим промышленным воздействием (ПП «КрасТЭЦ») нами отмечено замедление роста у части экземпляров *B. pendula*, *P. balsamifera* и *M. baccata*. Замедление роста у деревьев этих пород может быть результатом синергического воздействия техногенного и абиотического (потепление климата в этом регионе [1]) факторов.

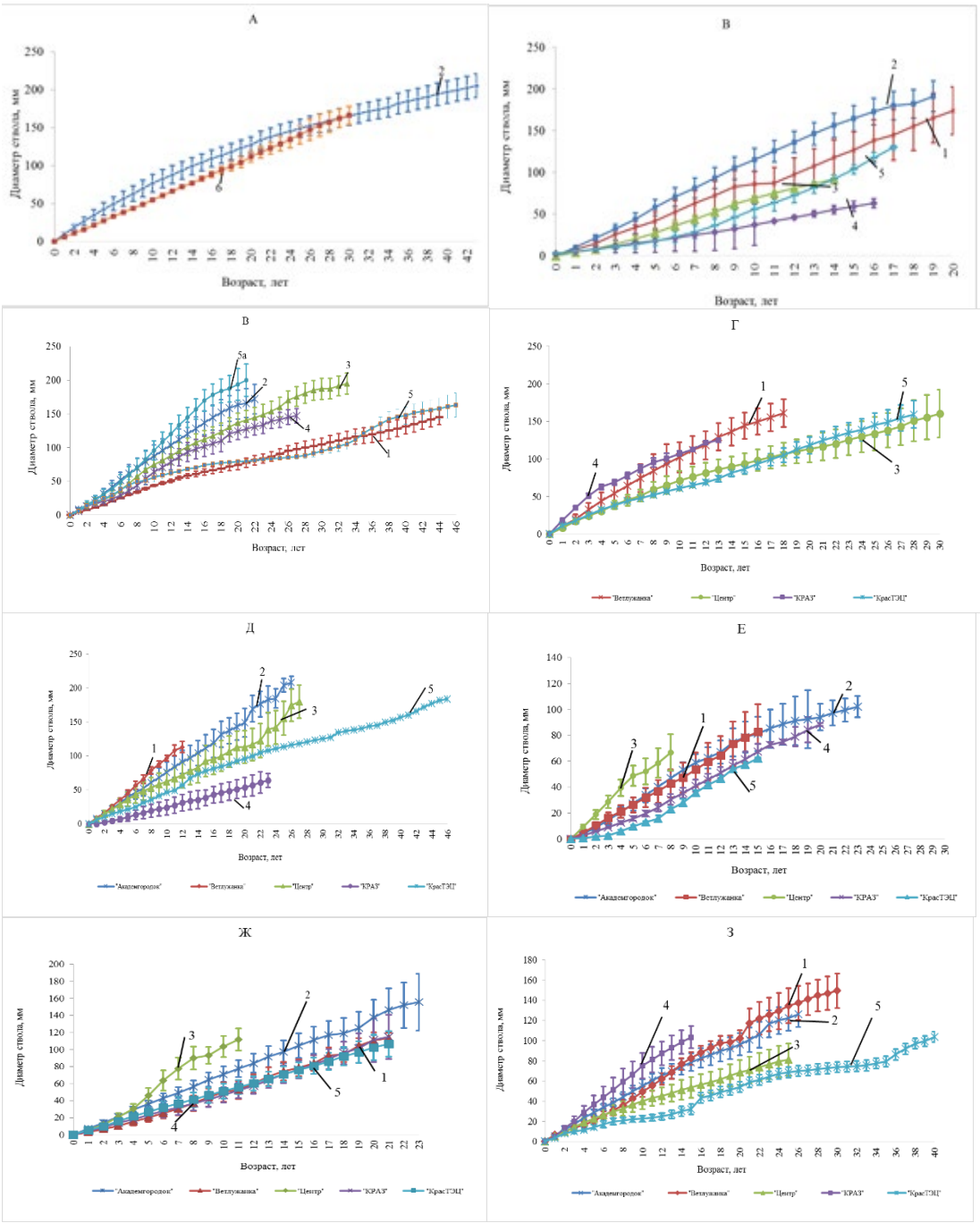


Рис. 1. Ход роста по диаметру сосны обыкновенной (А), ели колючей (Б), березы повислой (В), вяза приземистого (Г), тополя бальзамического (Д), рябины обыкновенной (Е), черемухи Маака (Ж) и яблони ягодной (Э) на пробных площадках «Ветлужанка» (1), «Академгородок» (2), «Центр» (3), «КрАЗ» (4), «КрасТЭЦ» (5), «165» (6)

Таким образом, исследования, проведенные в 2011–2018 гг. в крупном промышленном городе Центральной Сибири, позволили выявить особенности роста древесных растений, произрастающих в условиях постоянно изменяющейся среды, и отметить наиболее устойчивые породы, которые в полной мере способны выполнять средозащитные и санитарно-гигиенические функции на протяжении всего периода роста.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Государственный* доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2017 году». Красноярск, 2018. 301 с.
2. *Скрипальщикова Л.Н., Татаринцев А.И., Зубарева О.Н., Перевозникова В.Д., Стасова В.В., Грешилова Н.В.* Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 179 с.

УДК 581.15:575.8:582.477.6

ВНУТРИВИДОВОЙ ПОЛИМОРФИЗМ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО (*JUNIPERUS COMMUNIS* L.)

С.Г. КНЯЗЕВА[1], Е.В. ХАНТЕМИРОВА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (knyazevas@mail.ru)
[2] Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия (hantemirova@mail.ru)

Анатомо-морфологическими и генетическими методами проведено комплексное изучение биологического разнообразия 27 природных популяций *Juniperus communis* L., произрастающих на территории Европы, Азии и Северной Америки. Подтвержден таксономический статус кавказской разновидности *J. communis* var. *oblonga*. Североамериканский *J. communis* var. *depressa* и дальневосточный *J. communis* var. *saxatilis* не отличаются по морфолого-анатомическим и ядерным маркерам, но различаются по хлоропластным и, вероятно, являются родственными генетическими линиями, которые в сходных экологических условиях приобрели внешнее конвергентное сходство. *J. communis* var. *communis* и *J. communis* var. *saxatilis,* растущие в Европе и Азии, не дифференцируются генетически, но имеют статистически значимые отличия по ряду морфологических и анатомических параметров хвои и преобладающей жизненной форме. Поэтому кажется вероятным, что данные разновидности можжевельника являются экотипами, которые приобрели отличия в морфологии и анатомии, произрастая в разных экологических условиях.

INTRASPECIFIC POLYMORPHISM OF NATURAL POPULATIONS OF COMMON JUNIPER (JUNIPERUS COMMUNIS L.)

S.G. KNYAZEVA[1], E.V. HANTEMIROVA[2]

[1] Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (knyazevas@mail.ru),
[2] Institute of plant and animal ecology UB RAS, Yekaterinburg, Russia (hantemirova@mail.ru)

A complex study of the biological diversity of 27 natural populations of *Juniperus communis* L. on the main part of distribution range was carried out by morphological, anatomical and genetic methods. The taxonomic status of caucasian juniper *J. communis* var. *oblonga* was confirmed. North American *J. communis* var. *depressa* and Far Eastern *J. communis* var. *saxatilis* do not differ in morphological traits and nuclear markers, but differ in chloroplast markers. These varieties are probably related genetic lines, which in similar environmental conditions have acquired external convergent similarity. *J. communis* var. *communis* and *J. communis* var. *saxatilis*, growing in Europe and Asia, are not genetically differentiated, but have statistically significant differences in a number of morphological and anatomical parameters of needles and the predominant life form. Therefore, it seems likely that *J. communis* var. *communis* and *J. communis* var. *saxatilis* are ecotypes that growing in different environmental conditions and have acquired differences in morphology and anatomy.

Проведено комплексное исследование изменчивости 32 природных популяций можжевельника обыкновенного в широком географическом масштабе (рис. 1) с помощью анатомо-морфологических и генетических методов – аллозимным методом [2] и путем анализа изменчивости хлоропластной ДНК [1], чтобы выявить закономерности, характеризующие вид и его разновидности на протяжении всего ареала.

Исследование показало высокий уровень изменчивости как морфолого-анатомических, так и генетических признаков, что приводит к большим трудностям при изучении внутривидовой таксономии вида. За исключением примера кавказского можжевельника не было найдено явных корреляций между фенотипом, генетической изменчивостью и таксономической принадлежностью изученных популяций (рис. 2, рис. 3).

Проведенное исследование подтверждает таксономический статус *J. communis* var. *oblonga,* произрастающего на Кавказе. Реликтовые популяции кавказского

можжевельника, особенно в восточной части Северного Кавказа, заслуживают дальнейшего изучения.

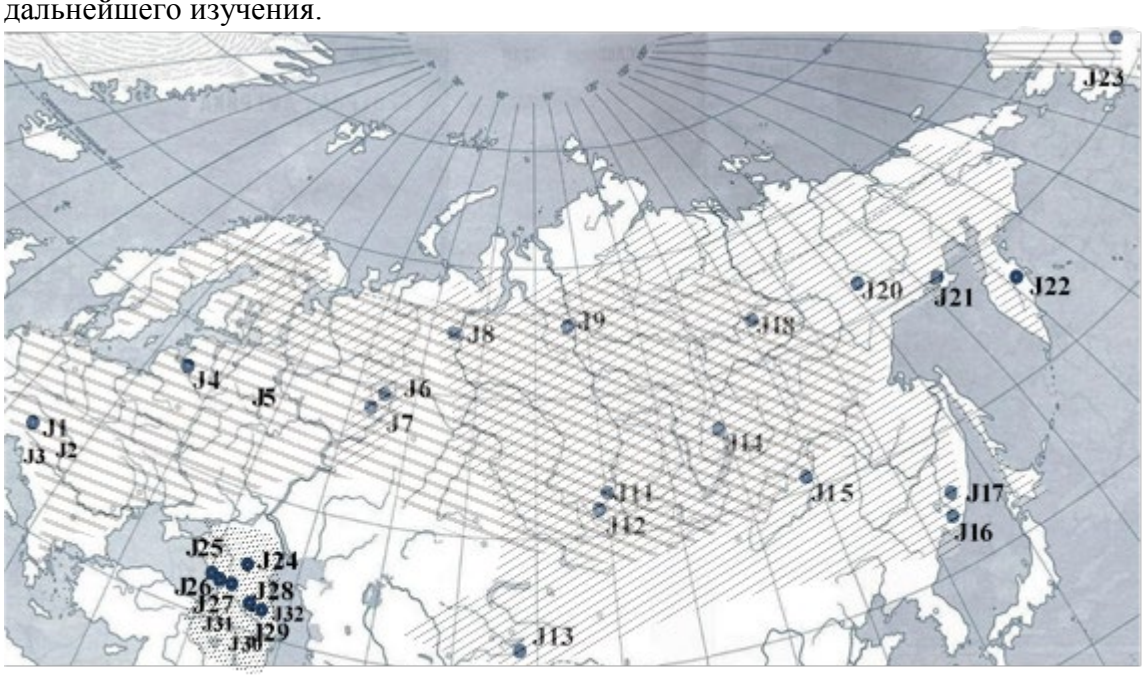


Рис.1. Места сбора популяций можжевельника и схема ареалов вариаций можжевельника обыкновенного (- *J.communis* var. *saxatilis*; - *J. communis* var. *communis*; - *J.communis* var. *oblonga*, -*J. communis* var.*depressa*)

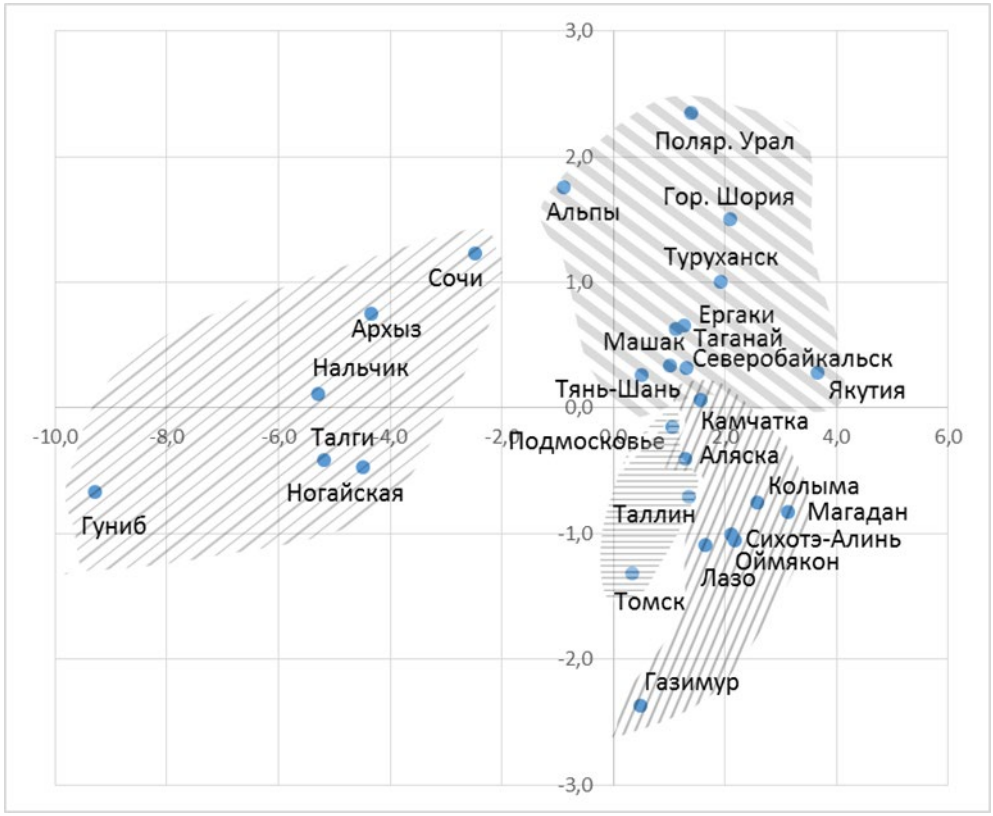


Рис.2. Ординация популяций можжевельника обыкновенного в плоскости первой и третьей главных компонент (- *J.communis* var. *saxatilis* (Дальний Восток), - *J.communis* var. *saxatilis* (Европа, Сибирь); - *J. communis* var. *communis*; - *J.communis* var. *oblonga*)

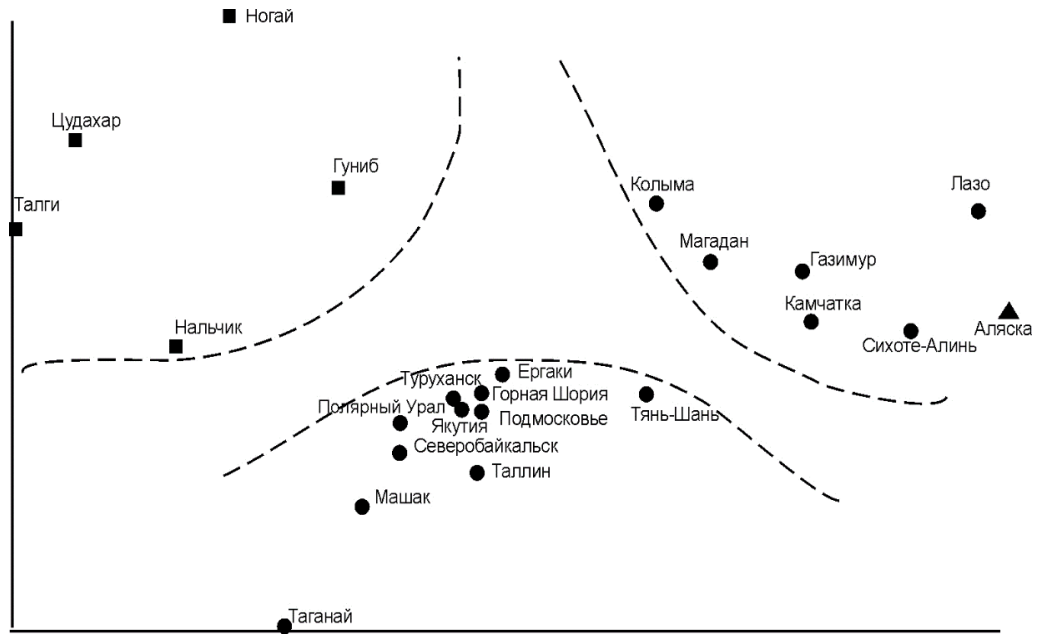


Рис. 3. Ординация популяций *J. communis*, построенная на основании генетических дистанций по аллозимным локусам

Североамериканский *J. communis* var. *depressa* и дальневосточный *J. communis* var. *saxatilis* не отличаются морфологически и анатомически, но различаются генетически и, вероятно, являются родственными генетическими линиями, которые произрастают в сходных климатических условиях и приобрели конвергентное внешнее сходство. Отличить их можно только генетически.

J. communis var. *communis* и *J. communis* var. *saxatilis,* произрастающие в Европе и Азии, не дифференцируются генетически, но имеют статистически значимые отличия по ряду морфологических и анатомических параметров хвои и преобладающей жизненной форме.

Это позволяет заключить, что *J. communis* var. *communis* и *J. communis* var. *saxatilis* являются экотипами, которые произрастают на обширном ареале, в разных экологических условиях (под пологом или в горах) и в результате высокой экологической пластичности вида приобретают отличия в морфологии и анатомии. Другим словами, обладая высокой полиморфностью, можжевельник обыкновенный существует одновременно в виде нескольких жизненных форм. Под действием отбора в разных экологических условиях начинает преобладать одна из них, в то же время постоянно существующий обмен генами между популяциями поддерживает генетическое единообразие на обширном ареале.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hantemirova E.V., Heinze B., Knyazeva S.G. et al*. A new Eurasian phylogeographical Paradigm? Limited contribution of southern populations to the recolonization of high latitude populations in *Juniperus communis* L. (*Cupressaceae*) // Journal of Biogeography (J. Biogeogr.). 2017. 44. P. 271–282.
2. *Хантемирова Е.В., Семериков В.Л.* Аллозимный полиморфизм разновидностей можжевельника обыкновенного // Лесоведение. 2009. № 1. С. 74–77. (*Hantemirova E.V., Semerikov V.L.* Allozyme polymorphism in the variations of *Juniperus* // Russian Journal of Forest Science. 2009. No. 1. P. 74–77.)

УДК 630*416.16(476)

МАССОВОЕ УСЫХАНИЕ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

А.И. КОВАЛЕВИЧ, В.В. УСЕНЯ

Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь (forinstnanb@gmail.com)

Приведены сведения о масштабах и причинах массового усыхания хвойных лесов на территории Республики Беларусь и наиболее эффективных способах профилактики, мониторинга и борьбы с данным патологическим процессом.

MASS DIEBACK OF CONIFEROUS FORESTS IN THE REPUBLIC OF BELARUS: CONDITION, CHALLENGES AND SOLUTIONS

A.I. KOVALEVICH, V.V. USENYA

Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus (forinstnanb@gmail.com)

The paper describes scales and reasons of the mass dieback of the coniferous forests on the territory of the Republic of Belarus and most effective methods of prophylaxis, monitoring and combating against this pathological process.

В Республике Беларусь лесистость территории составляет 39,8 %. Леса являются одним из основных возобновляемых природных ресурсов и важнейших национальных богатств, имеют большое значение для устойчивого социально-экономического развития страны. В видовом составе лесов преобладают сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – 50,0 % и ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst) – 9,4 % лесопокрытой площади.

В лесном фонде страны площадь действующих очагов вредителей и болезней леса, по состоянию на 31.12.2018, составила 152,7 тыс. га (1,8 % покрытых лесом земель), в том числе вредителей – 12,7 тыс. га и болезней – 140 тыс. га. Площадь погибших сосновых и еловых насаждений достигла 49,5 тыс. га, в том числе от воздействия неблагоприятных погодных условий – 43,7 тыс. га. На санитарное состояние хвойных лесов существенное влияние оказывают болезни леса. Максимальное распространение среди них получила корневая губка, площадь которой составила 103,5 тыс. га.

Периодическое массовое усыхание хвойных насаждений на территории страны обусловлено абиотическими (повышение среднесуточной температуры воздуха, снижение количества атмосферных осадков и уровня грунтовых вод в вегетационный период, увеличение площади ветровальных и буреломных лесных участков); биотическими (наличие хронических очагов грибных болезней, циклические вспышки насекомых-вредителей, появление агрессивных видов и гибридов патогенов и вредителей, изменение ареала местопроизрастания хвойных видов) и антропогенными (несвоевременное проведение санитарно-оздоровительных и лесозащитных мероприятий, создание лесных монокультур, нарушение функционирования гидролесомелиоративной сети) факторами. Снижению биологической устойчивости сосняков также способствовало проведение в них подсочки.

На территории страны на протяжении последних десятилетий отмечено периодическое массовое усыхание еловых насаждений, основными причинами которого являются снижение их биологической устойчивости, размножение и жизнедеятельность короедов (в основном типографа *Ips typographus* L.). В течение 1996–2018 гг. в порядке проведения сплошных санитарных рубок в ельниках вырублено более 32,5 млн м^3 древесины.

Первые очаги массового размножения стволовых вредителей (преимущественно вершинного – *Ips acuminatus* Gyll. и шестизубчатого – *Ips sexdentatus* Boern. короедов) в сосновых насаждениях Республики Беларусь выявлены в 2010 году, а их массовое усыхание отмечено в 2016–2018 гг., что потребовало проведения сплошных санитарных рубок на площади 68,4 тыс. га. Необходимо также отметить, что в осенне-зимний период 2017–2018 гг. в сосновых насаждениях по причине высокой численности зимующего в кроне деревьев вершинного короеда наблюдался «веткопад».

Проблема профилактики и борьбы с массовым усыханием хвойных лесов заключается в отсутствии выраженных естественных биотических факторов регуляции численности короедов, сложности характера формирования и развития очагов усыхания и выделения их буферной зоны, отсутствии эффективных в плане практической реализации методов ранней диагностики жизнеспособности деревьев и возникновения очагов усыхания, коротком цикле развития вершинного короеда и его высокой численности в порубочных остатках на лесосеках после проведения сплошных санитарных рубок.

В Республике Беларусь современная интегрированная система защиты лесов от вредителей и болезней включает в себя лесопатологический мониторинг, профилактические, истребительные и санитарно-оздоровительные мероприятия. Эффективная защита лесов от вредителей, оперативная локализация и ликвидация очагов их размножения возможны при оперативном выявлении поврежденных ими насаждений, что определяется результативностью лесопатологического мониторинга, составной частью которого является феромонный надзор. В настоящее время феромонные ловушки являются наиболее эффективным средством для контроля численности вершинного и шестизубчатого короедов в сосновых насаждениях и его распространения во времени и пространстве, а также своевременного проведения соответствующих санитарно-оздоровительных мероприятий.

В лесном фонде страны для мониторинга численности вершинного и шестизубчатого короедов в сосновых лесах применяются отечественные агрегационные феромонные препараты («Ипсвабол В» – для вершинного, «Ипсвабол Ш» – для шестизубчатого короедов). В 2016–2018 гг. для контроля численности вершинного и шестизубчатого короедов применялось, соответственно, 8240 и 7380 диспенсеров. Производство феромонных препаратов ежегодно осуществляется в специализированной лаборатории Белгосуниверситета в соответствии с заявками юридических лиц, ведущих лесное хозяйство. В очагах стволовых вредителей сосновых насаждений применяются наиболее эффективные способы борьбы: сплошные и выборочные санитарные рубки, утилизация порубочных остатков (сжигание, мульчирование), уборка захламленности, оперативная вывозка заготовленной древесины, а также ее обработка инсектицидами. Обработки инсектицидами против стволовых вредителей в силу биологических особенностей их жизненного цикла развития являются неэффективными и не проводятся.

Министерством лесного хозяйства в соответствии со сложившейся лесопатологической ситуацией в сосновых насаждениях оперативно разработан, согласован с Институтом леса НАН Беларуси и успешно реализуется Алгоритм проведения санитарно-оздоровительных мероприятий в сосняках. Проведение в лесном фонде страны в 2016–2018 годах санитарно-оздоровительных мероприятий в очагах короедного усыхания сосновых насаждений в максимально сжатые сроки с последующей утилизацией порубочных остатков и обработкой инсектицидами заготовленной древесины позволило не допустить потери качества заселенной вредителями древесины для ее дальнейшего использования.

В Фитопатологическом центре лесных древесных видов Института леса по

проблеме усыхания сосновых насаждений проведена оценка видового состава патогенных микроорганизмов, распространяемых насекомыми-ксилофагами и вызывающих поражения сосудистой системы деревьев, что приводит к их ослаблению и гибели. На основании молекулярно-генетических данных в биологическом материале ксилофагов (вершинного и шестизубчатого короедов, лубоедов и других стволовых вредителей) идентифицированы патогенные микромицеты, вызывающие некроз проводящей системы деревьев хвойных пород (синюю заболонную окраску и гниль).

С целью сохранения генетического потенциала хвойных лесов в связи с последствиями массового периодического усыхания Институт леса целенаправленно реализует программу сохранения их генофонда, в том числе и в генном банке семян лесных древесных видов при институте.

Одним из важных аспектов повышения биологической устойчивости хвойных лесов является научное обоснование породного ассортимента и методов создания и формирования биологически устойчивых лесных культур в условиях изменяющегося климата, а также дальнейшее проведение селекционного отбора засухоустойчивых климатипов хвойных пород, перспективных для искусственного лесовосстановления, и создание их постоянной лесосеменной базы в соответствии со Стратегией адаптации лесного хозяйства Республики Беларусь к изменению климата до 2050 года.

УДК 550.46

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СТОК РЕК ЗАЛЕСЕННЫХ БАССЕЙНОВ СИХОТЭ-АЛИНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

Н.К. КОЖЕВНИКОВА[1], А.Г. БОЛДЕСКУЛ[2], Т.Н.ЛУЦЕНКО[2], С.Ю. ЛУПАКОВ[2], В.В. ШАМОВ[2]

[1] ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия (nkozhevnikova@biosoil.ru)
[2] Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия (boldeskul@yandex.ru)

На примере малых горно-лесных водосборов дается анализ поступления минеральных и органических веществ с атмосферными осадками и оценка доли их участия в формировании гидрохимического стока рек.

THE LIQIUD ATMOSPHERIC PRECIPITATION IMPACT ON THE RIVER HYDROCHEMICAL RUNOFF AT THE FOREST WATERSHEDS IN THE SIKHOTE-ALIN MOUNTAIN AREA

N.K. KOZHEVNIKOVA[1], A.G. BOLDESKUL[2], T.N. LUTSENKO[2], S.Yu. LUPAKOV[2], V.V. SHAMOV[2]

[1] Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Vladivostok, Russia (nkozhevnikova@ibss.dvo.ru)
[2] Pacific Geographical Institute, Vladivostok, Russia (boldeskul@yandex.ru)

An analysis of mineral and organic substances intake with precipitation and an assessment of their participation share in the river hydrochemical runoff generation is done as based on observation data from small mountain-forest watersheds.

Гидрохимический сток рек западного макросклона южного Сихотэ-Алиня дает представление о количестве растворенных веществ и качестве воды, поступающей в р. Уссури с залесенных горных бассейнов. Природная специфика района исследований обусловлена нахождением в зоне влияния восточноазиатского муссона умеренных широт, и влажные выпадения, которые являются одним из механизмов выведения аэрального вещества из приземного слоя атмосферы, можно рассматривать как природно-антропогенный фактор формирования гидрохимического стока и химического состава речных вод. Стабильность гидрологических и биогеохимических процессов в залесенных бассейнах во многом определяется структурой основных компонентов лесных фитоценозов, которые не только распределяют количество поступивших осадков по площади, но и трансформируют их химический состав [4]. Несмотря на давнюю историю изучения малых рек Приморского края, их гидрохимический сток изучен недостаточно. Опубликованные к настоящему времени результаты дают необходимую информацию об ионном составе вод рек Дальнего Востока с водосборной площадью более 60 км^2 [6, 7]. Гидрохимическая изученность рек первых порядков, дренирующих склоны с различными по составу и возрасту лесами, оценка вклада атмосферных осадков в формирование их ионного стока весьма низкая [1, 2]. В представленной работе на примере малых рек с водосборной площадью менее 10 км^2 дается анализ поступления химических веществ с дождевыми водами и оценка доли их участия в формировании гидрохимического стока изучаемых рек.

Исследуемый нами бассейн р. Правая Соколовка расположен в поясе среднегорных кедрово-еловых лесов и входит в речную систему верховья Уссури. На площади 45 км^2 насчитывается ~33 малых реки, в основном первого порядка, с модулями стока от 7 до 12 л/с·км^2. Реки берут начало в отрогах Сихотэ-Алиня. Наивысшие точки в верховьях достигают отметки 1150 м над уровнем моря. Годовая сумма осадков составляет 600–1000 мм, около 80 % выпадает в летне-осенний период. Среднее число дней с осадками различной величины в год составляет 125–190 [3]. Суммарный слой речного стока в зависимости от увлажненности периода изменяется от 45 до 600 мм. За предшествующий длительный ряд наблюдений было

установлено, что преобладающим механизмом образования речного стока в теплый период года является контактный сток по локальной сети подземных дрен. Поверхностный сток на лесных склонах составляет менее 1 %, в то время как измеренная величина просочившейся через метровый почвенный слой влаги достигает 39 % от общего количества выпавших осадков [3].

Состав работ для решения поставленной задачи включал в себя детальные исследования фоновых концентраций атмосферных осадков, отбор проб речных вод на химический анализ при различной водности, непрерывные наблюдения за метеорологическими параметрами и речным стоком. Всего за 2011–2018 гг. было отобрано и проанализировано 588 речных, 105 дождевых проб воды.

Химический состав атмосферных осадков исследуемого района является производным взаимного влияния многих факторов. Ведущими являются региональный и дальний переносы веществ из антропогенно освоенных территорий и транспирационные выделения лесной растительности [2]. Суммарная минерализация и химический состав дождевых вод варьируют в зависимости от характера атмосферной циркуляции, режима и количества осадков. Из выборки 2012–2018 гг. было выделено 2 периода, различный характер атмосферной циркуляции которых сыграл важную роль в изменении макроэлементного состава дождевых вод (таблица). В 2010–2014 гг. основное количество осадков поступало в регион с юго-западными циклонами, формирующимися в загрязненной атмосфере Китая [5]. В этот период выпадающие осадки были кислыми с высоким содержанием сульфатов. После 2014 г. основной вклад в суммарный состав осадков стали вносить южные циклоны, что сказалось на соотношении в атмосферных осадках основных анионов. В 2015–2018 гг. концентрация нитратов по отношению к сульфатам возросла, а прохождение над регионом тропических циклонов послужило фактором увеличения в дождевых водах гидрокарбонатов и кальция более чем в 1,5 раза (табл. 1).

Таблица 1. Поступление макрокомпонентов с атмосферными осадками и их вынос водами рек различного порядка

Компоненты	2012–2014 гг.					2015–2018 гг.				
	Осадки*, мм	Приход	Вынос, кг/га			Осадки, мм	Приход, кг/га	Вынос, кг/га		
		кг/га	P1**	P2	P3			P1	P2	P3
HCO_3	505–592 540	0,73	2,66	8,21	29,9	395–921 644	5,71	7,81	12,5	75,1
Cl		0,47	0,84	0,64	0,45		0,69	1,06	0,80	1,36
SO_4		1,92	9,28	5,82	6,91		1,64	9,32	6,42	17,3
NO_3		1,26	2,60	1,55	1,70		2,01	1,69	1,70	3,83
Ca		0,53	3,11	3,32	8,54		0,93	3,84	4,35	22,0
Mg		0,07	0,54	0,41	2,26		0,13	0,53	0,42	5,33
K		0,45	1,39	0,82	0,50		1,12	1,52	1,02	1,70
Na		0,20	1,39	1,95	1,51		0,21	1,79	1,97	3,77
∑ионов		5,63	22,0	22,7	51,4		12,4	27,7	29,2	129
Si		0,03	6,80	6,26	2,37		0,04	7,46	6,92	10,7
РОУ		2,75	3,32	2,69	3,58		5,14	5,87	3,44	8,26
pH		5,07	5,73	6,64	7,34		5,34	6,14	6,59	7,41

Примечания. * Числитель – диапазон, знаменатель – среднее за период; **P1, P2, P3 – реки 1, 2, 3 порядка соответственно.

Дождевые воды района исследований – ультрапресные с минерализацией 4–15 мг/л, в большинстве случаев они относятся к типичному для континентальной части гидрокарбонатно-сульфатному классу, группе кальция. Воздействие поступающих с дальним трансграничным переносом загрязненных веществ в периоды циклональной активности трансформирует осадки в растворы с преобладанием сульфатов, нитратов и протонов водорода [4]. Влажные выпадения серы и азота в 2012–2018 гг. на исследуемой территории составили 0,60±0,22 кгS/га и 0,34±0,19 кгN/га. Кислотность дождевых вод за период наших

наблюдений варьировала от 3,82 до 6,50 и в среднем составила 4,84±0,50. Более 65 % выпавших осадков были кислыми (4<pH≤5), а около 7 % – очень кислыми и имели pH≤4,0. Как было отмечено в работе [2], для районов с гумидным климатом и естественным лесным покровом осадки с pH около 5 следует рассматривать как нормальные. К антропогенному фактору закисления осадков можно отнести снижение pH до 4,5–3,8 в отдельных дождях с концентрацией сульфатов от 2,5 до 10 мг/л.

Атмосферные осадки поступают на занятую хвойно-широколиственным лесом (~98 % площади) поверхность, и в процессе стекания в русловую сеть их химический состав существенно трансформируется. Выполненные расчеты за теплый сезон 2012–2018 гг. (табл. 1) показали, что в зависимости от водности года на водосборную площадь Правой Соколовки поступает от 13,5 до 90 т минеральных и от 4,3 до 45 т органических веществ. От 14 до 49 % выпавших с осадками макроэлементов достигает вод речных систем 1–2 порядка и 6 – 23% – рек 3–4 порядка. Высокий процент доли участия атмосферных осадков в формировании химического состава речных вод выявлен для хлора, нитратов, калия, растворенного органического углерода (РОУ), а в элементарных водосборах еще и для гидрокарбонатов. Подавляющая часть HCO_3 в реки более высоких порядков поступает в процессе выветривания материнских пород и в составе почвенно-грунтовых вод. Данный анион доминирует в составе вод рек 3–4 порядка и, вероятно, поэтому здесь доля выпавших с осадками макроэлементов от выноса с речными водами существенно ниже. Хлор и сульфаты часто поступают в составе сухих выпадений [2,4] и аккумулируются на кронах древостоев. Надземная фитомасса хвойных древостоев имеет большую сорбирующую поверхность, и после выпадения дождя основным поглотителем Cl и SO_4 является подстилка и гумусово-аккумулятивный горизонт пихтово-кедрово-еловых лесов, произрастающих преимущественно в верховьях исследуемых рек. В связи с этим хлор и сульфаты выносятся в большем количестве водами рек элементарных водосборов.

Исследование миграции РОУ и нитратов показало, что основным их источником является органогенный горизонт почвы, причем большая часть РОУ поступает с осадками, прошедшими через кроны древостоев. Атмосферный вклад РОУ и нитратного азота в среднем за теплый период на всех реках превышает 70 % и 80 % соответственно. Органическая компонента дождевых вод в более сухие годы аккумулируется на склонах водосборов. Во влажные сезоны или годы из экосистемы выносится более 30 % от поступившего с дождями РОУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Болдескул А.Г., Шамов В.В., Гарцман Б.И., Кожевникова Н.К.* Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в Центральном Сихотэ-Алине // Тихоок. геол. 2014. Т. 33. № 2. С. 90–101.
2. *Елпатьевский П.В.* Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993. 253 с.
3. *Жильцов А.С.* Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2008. 331 с.
4. *Кожевникова Н.К., Луценко Т.Н., Болдескул А.Г., Лупаков С.Ю., Шамов В.В.* Водная миграция макроэлементов в хвойно-широколиственных лесах Сихотэ-Алиня // Сиб. лесной журнал. 2017. № 3. С. 60–73.
5. *Кондратьев И.И.* Межгодовая и сезонная изменчивость трансграничного потока техногенных загрязняющих веществ в Дальневосточном регионе // Вестник ДВО РАН. 2018. № 2 (198). С. 110–118.
6. *Шестеркин В.П., Костомарова И.В.* Гидрохимия малых рек государственного природного заказника «Тумнинский» // Чт. памяти В.Я. Леванидова. 2017. Вып. 7. С. 263–266.
7. *Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В.* Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // Вод. рес. 2009. Т. 36. № 4. С. 428–439.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-05-00541 и программы «Дальний Восток» (грант № 18-6-089).

УДК 574.24

МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА

Е.Ю. КОЛМОГОРОВА

Институт экологии человека ФИЦ УУХ СО РАН, Кемерово, Россия (kolmogorova_elena@bk.ru)

Изучение морфофизиологических характеристик сосны в различных экологических условиях породного отвала позволило сделать вывод о возможности исключения из технологического этапа рекультивации операции по нанесению потенциально плодородного слоя как неэффективной в случае рекультивации с использованием сосны обыкновенной.

MORPHOPHYSIOLOGICAL ASSESSMENT OF THE CONDITION OF SCOTCS PINE, GROWING IN VARIOUS ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE WASTE DUMP

E.Yu. KOLMOGOROVA

Institute of Human Ecology FRC CCC SB RAS, Kemerovo, Russia (kolmogorova_elena@bk.ru)

The study of the morphophysiological characteristics of pine in various environmental conditions of the waste dump allowed us to conclude that the operation to apply a potentially fertile layer can be excluded from the technological stage of remediation, as ineffective in the case of recultivation using Scotch pine.

Интенсивное развитие угольной отрасли в Кузбассе привело к образованию обширных площадей нарушенных земель. Важное значение для оздоровления окружающей среды имеют мероприятия по лесному направлению рекультивации. В условиях Кузбасса для биологического этапа рекультивации породных отвалов угольных разрезов чаще других используется сосна обыкновенная.

Перед проведением биологического этапа рекультивации на некоторых отвалах наносится потенциально плодородный слой – ППС. Однако представляет интерес выяснение необходимости нанесения потенциально плодородного слоя (ППС) при проведении технического этапа рекультивации в случае использования для биологического этапа рекультивации сосны обыкновенной.

Цель данной работы – оценить физиологические и морфометрические характеристики сосны обыкновенной в различных экологических условиях отвала угольного разреза «Кедровский».

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: оценка содержания аскорбиновой кислоты и водорастворимых фенольных соединений в хвое сосны; прирост годичного побега; количество и масса хвои годичного побега.

Исследования проведены в 2014–2016 годах. В качестве объектов исследований были выбраны посадки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) I (10–15 лет) и II (20–25 лет) класса возраста. Возраст отвала 25–30 лет, но в 2004 г. был проведен комплекс работ по его планировке. Площадки наблюдения выбраны на территории отвала «Южный» разреза «Кедровский» и различаются комплексом экологических факторов. ПН № 1 – спланированный отвал (с нанесением ППС), ПН № 2 – межотвальная впадина (без нанесения ППС), ПН № 3 – спланированный отвал (без нанесения ППС).

Самые неблагоприятные условия для существования растений складываются на спланированном отвале без нанесения ППС (ПН № 3). Условия межотвальной впадины (ПН № 2) способствуют накоплению влаги, необходимой для развития растений. ПН № 1 характеризуется более высоким содержанием питательных веществ за счет нанесения ППС.

Выборка растений составляла 5 деревьев, типичных для каждой исследуемой площадки. Физиолого-биохимические исследования проводили 3 раза за вегетацию – в середине июня, июля и августа. Отбор проб хвои проводили в утренние часы с южной стороны, с нижней трети кроны; отбирали хвою второго года [3]. Повторность опытов трехкратная.

Содержание аскорбиновой кислоты определяли по ГОСТ 24556-89 [1], содержание водорастворимых фенолов в хвое – методом Нейбауэра – Левенталя [2]. Морфометрические исследования проводили на 10 модельных деревьях каждой ПН, у которых метили по 10 ветвей нижней трети кроны дерева по периметру. Длину годичных побегов измеряли каждые 10–15 дней до прекращения роста с помощью линейки с точностью до 0,1 см. На годичном побеге определяли количество (в штуках) и массу хвои (взвешиванием на весах с точностью до 0,1 г).

Эмбриоземы ПН № 3 (спланированный отвал без нанесения ППС) характеризуются самыми низкими значениями агрохимических показателей в сравнении с ПН № 1 и ПН № 2.

На ПН № 1 и ПН № 2 отмечается средняя обеспеченность нитратным азотом (9,5…13,8 мг/кг), высокая обеспеченность обменным калием (100…240 мг/кг), низкая обеспеченность подвижным фосфором (30…50 мг/кг). На ПН № 3 отмечены самые низкие значения обменного фосфора и нитратного азота (10…20 и 3,6…6,0 мг/кг соответственно).

Важнейшим механизмом устойчивости в неблагоприятных экологических условиях является активизация многоуровневой биохимической системы антиоксидантной защиты, в которую входит большое число компонентов. Среди них особое место занимают низкомолекулярные метаболиты, проявляющие антиоксидантные свойства, в частности, фенольные соединения и аскорбиновая кислота.

Результаты исследования показали, что в хвое сосны обыкновенной I и II классов возраста увеличивалось содержание аскорбиновой кислоты и водорастворимых фенольных соединений на спланированном отвале без нанесения ППС (ПН № 3). В среднем за вегетацию у сосны I возрастной категории на ПН № 3 более существенно возрастало содержание аскорбиновой кислоты (на 35 % больше, чем на ПН № 2), а у сосны II возрастной категории – содержание водорастворимых фенолов (выше на 17 % в сравнении с ПН № 1 (табл. 1).

Таблица 1. Морфофизиологические характеристики сосны обыкновенной, произрастающей в различных экологических условиях породного отвала разреза «Кедровский» (средние данные 2014–2016 гг.)

Площадки	Показатели				
	Сод. аскорбиновой к-ты, мг/100 г	Сод. водорастворимых фенольных соед., %	Прирост год. побега, см	Сырая масса хвои год. побега, г	Кол-во хвои год. побега, шт
10–15 лет					
ПН № 1	45,80±0,56	5,3±0,16	6,1±0,27	1,3±0,12	91,86±2,3
ПН № 2	40,20±1,80	5,0±0,06	6,2±0,16	1,5±0,08	98,70±1,9
ПН № 3	62,10±1,08	5,6±0,07	7,0±0,31	2,0±0,06	113,94±3,1
20–25 лет					
ПН № 1	42,31±0,93	4,4±0,08	4,1±0,16	1,6±0,07	82,16±1,6
ПН № 2	36,46±0,45	5,1±0,09	4,8±0,27	1,6±0,10	91,7±2,6
ПН № 3	48,66±1,59	5,3±0,11	6,0±0,20	2,2±0,03	125±3,4

Определение величин роста расчетными методами позволяет выделить среди характеристик жизнедеятельности слабо и тесно связанные с факторами внешней среды. Выявлено, что прирост годичного побега, масса и количество хвои годичного побега больше всего у сосны как I, так и II класса возраста на ПН № 3. Средние данные за вегетацию показали, что у сосны 10–15-летнего возраста максимально повышается сырая масса хвои годичного побега (на 35 % больше, чем на ПН № 1), а у сосны 20–25-летнего возраста прирост годичного побега и количество хвои годичного побега максимально увеличиваются по сравнению с ПН № 1 (на 32 % и 34 % соответственно) (табл. 1).

Таким образом, исследованиями установлено, что в различных условиях породного отвала разреза «Кедровский» у сосны обыкновенной I и II классов возраста повышаются изучаемые морфофизиологические характеристики на уровне годичных побегов и хвои на площадке ПН № 3 без нанесения ППС.

Нанесение потенциально плодородного слоя не оказывает положительного влияния на морфофизиологические характеристики сосны, поэтому эту дорогостоящую процедуру технического этапа рекультивации можно исключить.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ 24556-89*. Методы определения витамина С. М.: Изд-во стандартов, 1989. 15 с.
2. *Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е.* Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащее антраценпроизводные, простые фенолы, лигнины, дубильные вещества. Учебное пособие для вузов. Воронеж, 2007. С. 50–51.
3. *Михайлова Т.А.* Эколого-физиологическое состояние лесов, загрязненных промышленными эмиссиями: биологические науки. Иркутск, 1997. 47 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания «Оценка состояния и охрана флористического разнообразия под влиянием антропогенных и техногенных факторов *in situ* и *ex situ* № 0352-2019-0015; № госрегистрации АААА-А17-117041410053-1.

УДК632.93+579.264

МИКРООРГАНИЗМЫ И ФИТОПРЕПАРАТЫ КАК АГЕНТЫ БИОРЕМЕДИАЦИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВ

О.Э. КОНДАКОВА[1], И.Д. ГРОДНИЦКАЯ[1], О.И. ЛОМОВСКИЙ[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (koeandkoe@mail.ru, igrod@ksc.krasn.ru)
[2] Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

Результаты полевых исследований микробных и фитопрепаратов в условиях лесного питомника показали эффективность микроорганизмов-антагонистов (*T. harzianum, B. amyloliquefaciens*) и фитопрепаратов на основе растительного сырья в биоремедиации деградированных почв, а также в стимуляции роста и защите сеянцев сосны обыкновенной.

MICROORGANISMS AND PHYTOPREPARATIONS AS AGENTS OF BIOREMEDIATION OF DEGRADED SOILS

O.E. KONDAKOVA[1], I.D. GRODNITSKAYA[1], O.I. LOMOVSKY[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (koeandkoe@mail.ru, igrod@ksc.krasn.ru)
[2] Institute of solid-state chemistry and mechanochemistry, Novosibirsk, Russia

The results of the natural studies of microbial and phytopreparations in conditions of a forest nursery showed, that the antagonistic microorganisms (*T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens*) and phytopreparations based on plant materials were the effective method of the degraded soils bioremediation and the promising stimulator of the growth and protecting pine seedlings.

Многочисленные исследования показывают, что неправильное и чрезмерное применение различных пестицидов приводит к деградации почвы, что особенно отчетливо видно на примере лесных питомников [2]. Такие почвы отличаются по химическим, физическим и биологическим свойствам от почв леса, в таких почвах снижается естественное плодородие, теряются лесорастительные свойства [3, 5]. Перспективу для решения данной проблемы дает биоремедиация, нацеленная на восстановление почвенного покрова и улучшение лесорастительного состояния почвы. Биоремедиация с использованием микроорганизмов обладает рядом преимуществ: она безопасна для окружающей среды, не оставляет вторичных отходов, а также позволяет изменить почвенную микробиоту и тем самым не только повысить фитосанитарное состояние почвы, но и улучшить качество сеянцев, выращиваемых в лесных питомниках. Кроме того, зачастую такой метод биоремедиации является единственно возможным, особенно когда корректировки системы ухода за почвой не приводят к успеху. Использование растений (фиторемедиация) в процессах очищения и восстановления почв – хорошо зарекомендовавший себя технологический способ биоремедиации, в основе которого лежит выращивание растений на загрязненных и нарушенных территориях с целью поглощения, транслокации и аккумуляции в них загрязнителя [2]. Одним из вариантов фиторемедиации можно считать использование различных растительных препаратов (биоудобрений), способствующих повышению плодородия почв.

В связи с тем, что проведенные нами длительные вегетационные эксперименты с использованием микроорганизмов-антагонистов показали целесообразность микробиологической биоремедиации [1, 4], а фитопрепараты на основе механохимической переработки растительного сырья могут стать перспективным вариантом экологически безопасного биоудобрения для лесных питомников Сибири, цель нашей работы состояла в изучении влияния микробов-антагонистов и фитопрепаратов на состояние почвенных параметров, а также на прорастание семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в деградированной почве на опытном лесном питомнике Погорельского стационара Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН.

В мае 2016 года на опытном питомнике Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН в условиях стационара «Погорельский бор» закладывали опыт по влиянию предпосевной обработки семян сосны обыкновенной микроорганизмами-антагонистами и фитопрепаратами на биогенность почвы, рост и развитие семян сосны обыкновенной. Семена сосны (*Pinus sylvestris* L.) предварительно обрабатывали водными суспензиями антагонистов (титр 10^7 кл/мл), хранящихся в коллекции ИЛ СО РАН, и фитопрепаратами (ФП), предоставленными О.И. Ломовским (Институт химии твердого тела, Новосибирск). Согласно инструкции их высевали на участки 50х50 каждый в следующих вариантах: 1) контроль (H_2O); 2) Фитопрепарат-1 (ФП1) – Шелуха гречихи и 5 % NaOH; 3) Фитопрепарат-2 (ФП2) – Шелуха риса + зеленый чай; 4) Фитопрепарат-3 (ФП3) – Шелуха риса + шелуха гречихи; 5) Фитопрепарат-4 (ФП4) – Бурый уголь + NaOH; 6) *Trichoderma harzianum*; 7) *Trichoderma longibrachiatum*; 8) Смесь грибов р. *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. lignorum*, *T. longibrachiatum*); 9) *Bacillus amyloliquefaciens*; 10) Смесь бактерий (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtillis*, *Pseudamonas* sp.). Ежемесячно проводили учет грунтовой всхожести (через 30 дней после посева) семян сосны, ежемесячно в течение двух вегетационных сезонов наблюдали за ростом и развитием сеянцев, вели учет живых и погибших. Кроме того, ежемесячно вели учет почвенных температур и отбирали образцы почвы под посевами сосны для последующих лабораторных микробиологических, биохимических и агрохимических исследований.

Результаты исследования показали, что грунтовая всхожесть семян зависела от их обработки. Количество сеянцев сосны было максимальным в контроле (23,1 %), в вариантах *T. harzianum* (23,1 %) и *B. amyloliquefacience* (17,1 %). При этом было отмечено, что при обработке семян сосны суспензиями микромицетов грунтовая всхожесть была на 16,8 % и 25,3 % выше, чем при обработке ФП и бактериями соответственно. На протяжении периода вегетации (июнь – сентябрь) количество сеянцев изменялось в связи с погодными условиями и вариантом обработки. Так, ФП, показавшие довольно дружную грунтовую всхожесть семян сосны в июне, уже через месяц (в июле) показали резкое уменьшение количества сеянцев (в среднем на 5 %), при этом были отмечены значимые отрицательные корреляции с численностью гидролитических и олиготрофных групп, r=- 0,53 и -0,9 соответственно. Схожая ситуация с гибелью проростков к июлю отмечалась при обработке семян сосны микроорганизмами, однако в этих вариантах было отмечено существенное влияние гидротермических условий почвы (с температурой$_1$, влажностью$_2$ и pH$_3$ почвы) как при обработке микромицетами (r_1=-0,71, r_2=-0,47, r_3=-0,43), так и при обработке бактериями (r_1=0,6, r_3=0,92). Таким образом, наиболее сильное изменение в численности сеянцев пришлось на июнь, а в оставшиеся месяцы сезона 2016 г. значительных изменений не наблюдалось. Наибольшее количество жизнеспособных сеянцев сосны (относительно контроля) к концу вегетации осталось при обработках *T. harzianum*, *B. amyloliquefacience* и ФП1.

Морфометрический анализ сеянцев сосны обыкновенной, проведенный через год после посева семян, обработанных микробами-антагонистами и ФП, показал, что обработка семян микробными и ФП продемонстрировала практически одинаковые показатели длины корня, которые были на 22 % меньше контрольных. В свою очередь в контроле корневая система была менее разветвленной, чем в вариантах с обработкой семян *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens* и ФП1, – хорошо известно, что разветвленная корневая система способна более качественно обеспечить растение влагой и питательными веществами. В целом морфометрический анализ показал, что несмотря на то, что морфометрические показатели сеянцев при обработке ФП были выше контрольных значений, микроорганизмы активнее стимулировали рост и развитие

сеянцев сосны, чем ФП. Так, значения длины стебелька, мутовки, диаметра шейки и сухой вес сеянцев были в среднем в 1,7 раза меньше при обработке ФП1, чем при обработке *B. amyloliquefaciens*.

Таким образом, наибольший положительный эффект на морфометрические характеристики сеянцев сосны обыкновенной, особенно на увеличение длины корня, стебля и мутовки, оказала предпосевная обработка семян штаммами *B. amyloliquefaciens* и *T. harzianum* (p <0,05, тест Уилкоксона).

Результаты исследования показали, что предпосевная обработка семян сосны микроорганизмами-антагонистами и ФП положительно сказалась на общей микробной численности (ОМЧ). Так, в среднем в течение вегетационного сезона 2016 г. ОМЧ в вариантах с ФП и бактериями была на 24 % и 14,6 % выше, чем в контроле, особенно при обработке семян сосны ФП2 и Смесью бактерий.

Предпосевная обработка семян микробами и ФП также способствовала значительному повышению содержания микробной биомассы (МБ) по сравнению с контролем (в 7,4 раза) как в начале, так и в конце вегетационного сезона. При этом на содержание МБ более эффективно повлияла обработка антагонистами (в 1,3 раза), чем ФП. На протяжении вегетационного сезона наиболее перспективными были обработки бактериями (*B. amyloliquefaciens*, Смесь бактерий) и двумя ФП (ФП1, ФП4). Несмотря на нарушенное состояние микробоценоза, показатели qCO_2 в среднем на протяжении сезона при обработке семян микроорганизмами и ФП были в 3 и 2 раза ниже контроля. Так, в сентябре qCO_2 в контроле был на 10,8 % выше, чем при обработке микромицетами, на 34 %, чем при обработке ФП, и на 36,6 %, чем при обработке бактериями. Наиболее активно экологическое равновесие почвы восстанавливали ФП3, *T. harzianum.*

Обработка микроорганизмами (особенно *B. amyloliquefaciens*, *T. harzianum*) в целом способствовала увеличению активности всех ферментов (в 1,5 и 1,7 раза) по сравнению с таковыми в почве перед посевом (фон). При обработке семян ФП наиболее заметно увеличивалась активность инвертазы, ПФО, ПО и уреазы – в среднем в 1,3–1,5 раза, особенно с ФП, содержащими шелуху гречихи (ФП1, ФП4).

Таким образом, проанализировав основные показатели биогенности почвы (ОМЧ, респирометрическая и ферментативная активность), всхожесть, сохранность и качество сеянцев сосны обыкновенной, установили, что обработка семян сосны микроорганизмами и ФП является эффективным методом биоремедиации деградированных почв, а наиболее эффективными вариантами становятся *T. harzianum, B. amyloliquefaciens* и ФП1 и ФП4.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гродницкая И.Д., Сорокин Н.Д.* Внесение микробов-интродуцентов в лесные почвы питомников Сибири // Почвоведение. 2007. 3. С. 359–364.
2. *Великанов Л.Л., Сидоров И.И.* Экологические проблемы защиты растений от болезней // Итоги науки и техники. Защита растений. 1988. 6. С. 58–141.
3. *Загрязнение* почв и новейшие технологии их восстановления / Д.Ю. Ступин. СПб.: Изд-во «Лань», 2009. 432 с.
4. *Гродницкая И.Д., Кондакова О.Э., Терещенко Н.Н.* Влияние микробов-антагонистов на биогенность почвы и сохранность сеянцев хвойных в искусственных фитоценозах // Сибирский лесной журнал. 2016. 6. С. 13–25.
5. *Рахматуллоев Х.Р.* Влияние различных видов пользования на лесные почвы // Лесной вестник. 2001. 1. С. 86–90.

УДК 574.38 : 674.032.475.442*

СОПРЯЖЕННОСТЬ СТРУКТУРЫ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО ОКРАСКЕ МИКРОСТРОБИЛОВ С УСЛОВИЯМИ МЕСТОПРОИЗРАСТАНИЯ

А.Е. КОНОВАЛОВА, А.В. ПИМЕНОВ, Г.Б. КОФМАН, М.Е. КОНОВАЛОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Академгородок (annkonovalov@mail.ru)

Проанализированы связи соотношения числа деревьев желтопыльниковой и краснопыльниковой форм сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и условий местопроизрастания. Установлено, что структура ценопопуляций сосны обыкновенной имеет статистически значимую связь с признаками условий местопроизрастания.

CONTINGENCY COMPOSITION OF SCOTCH PINE CENOPOPULATION AT COLOURING MALE CONES WITH HABITAT CONDITION

A.E. KONOVALOVA, A.V. PIMENOV, G.B. KOFMAN, M.E. KONOVALOVA

V.N.Sukachev Institute of Forest SB RASc, Krasnoyarsk, Russia (annkonovalov@mail.ru)

Association balance of red and yellow male cones form Scots pine with habitat condition was analyzed. It is found that the composition of Scotch pine cenopopulation have statistically significant connection with flag indicator of habitat.

На основании двух вариаций окраски мужских генеративных структур различают две формы сосны обыкновенной – желтопыльниковую (*Pinus sylvestris* Lindl. f. *sulfuranthera* Kozubow), цвет микростробилов которой обусловлен содержанием хлорофилла и повышенным содержанием каротиноидов, и краснопыльниковую (*Pinus sylvestris* Lindl. f. *erythranthera* Sanio), цвет микростробилов которой обусловлен содержанием каротиноидов отличных по составу пигментов и повышенным в десятки раз содержанием антоцианов [2]. Данный признак наследственно обусловлен и неизменен в течение всей жизни дерева. Ценопопуляции *P. sylvestris* с различным формовым составом складываются в определенных лесорастительных условиях [1, 4, 8, 9].

Целью настоящей работы являлась оценка влияния условий местопроизрастания на структуру ценопопуляций *P. sylvestris* по окраске микростробилов.

Исследования проводились на территории Назаровско-Минусинской межгорной впадины в аридном климатическом секторе Алтае-Саянской горной области и охватили ксероморфные сосняки, занимающие типичные для юга Сибири боровые и петрофитные экотопы. В ходе работ обследовано 1209 деревьев на 29 пробных площадях. Таксация древостоев проводилась методом сплошного перечета с определением принадлежности каждого дерева к той или иной форме *P. sylvestris* по окраске микростробилов.

Статистическая обработка эмпирических данных осуществлялась методом информационного анализа таблиц сопряженности [10, 11]. Одну часть системы представляло число деревьев краснопыльниковой и желтопыльниковой форм. В качестве второй части системы рассматривались различные признаки условий местопроизрастания (высотное местоположение, бонитет, гидротоп, трофотоп и тип леса).

Высотное местоположение представляло собой стометровые интервалы на градиенте абсолютных высот рельефа от 200 до 699 м н. у. м. Класс бонитета древостоя использован как интегральный показатель качества условий местопроизрастания, детерминированный климатическими и эдафическими условиями [5]. В соответствии с классификацией Алексеева – Погребняка [6] определялись категории подсистем

гидротоп и трофотоп, характеризующие пробные площади по действующим на растительность почвенно-гидрологическим факторам. В качестве комплексной характеристики биогеоценоза рассматривались типы леса. В соответствии с эколого-фитоценотической схемой В.Н. Сукачева они объединяют лесные растительные сообщества, близкие по климатическим и эдафическим условиям, производительности, составу всех ярусов растительности и характеру функционирования [7].

Во всех вариантах систем значения энтропий подсистем не равны друг другу, а их сумма больше общей энтропии системы для всех признаков условий местопроизрастания (табл. 1). Из чего следует, что все рассмотренные подсистемы являются связанными. Вычисленная на основе энтропий общая взаимная информация больше значений минимальной статистически значимой общей взаимной информации для всех признаков условий местопроизрастания. Следовательно, подсистемы не независимы при уровне значимости $p = 0,95$.

Таким образом, комплексы условий местопроизрастания, характеризуемые рассмотренными признаками, и ценопопуляции *P. sylvestris* действительно являются связанными подсистемами. Их связь двусторонняя, на конечный вид ценопопуляции влияет как разнообразие условий местопроизрастания, так и разнообразие экологических предпочтений форм *P. sylvestris*, различаемых по окраске микростробилов. И если во всех случаях окраска может быть лишь двух альтернативных вариантов, то комплекс условий местопроизрастания характеризуют пять различных признаков с разным влиянием.

Таблица 1. Основные информационные характеристики связи окраски микростробилов и признаков условий местопроизрастания

Признаки условий местопроизрастания	Энтропия окраски микростробилов	Энтропия признаков условий местопроизрастания	Общая энтропия системы	Общая взаимная информация	Минимальная статистически значимая общая взаимная информация	Коэффициент нормированной взаимосвязи $R_{X\|Y}$
Высотное местоположение	0,574218	1,931403	2,452724	0,052897	0,000061	0,092121
Бонитет	0,574218	2,084937	2,629355	0,029800	0,000123	0,051897
Трофотоп	0,574218	1,415821	1,981581	0,008458	0,000018	0,014730
Гидротоп	0,574218	2,170107	2,693283	0,051043	0,000197	0,088891
Типы леса	0,565888	2,589897	3,037569	0,118216	0,000374	0,208904

Наименьшую связь имеют трофность почв и бонитет древостоя. Наибольшее значение коэффициента нормированной информации соответствует типам леса. Влияние высотного местоположения в 2,3 раза меньше влияния локальных условий произрастания, характеризуемых типами леса, и незначительно превышает влияние почвенного увлажнения.

Разница значений коэффициента нормированной информации не означает меньшей значимости изменения климатических факторов на градиенте абсолютных высот. Повышенная связь формового состава сосновых древостоев с типами леса говорит о том, что категории первых более полно объясняют разнообразие вторых. Исходя из этого очевидно, что более ясное представление об особенностях

формирования определенного соотношения форм с различной окраской микростробилов в ценопопуляциях *P. sylvestris* будут давать типы леса, так как они формируются в строго определенных климатических условиях. Это является следствием «зашумления» общеклиматических связей влиянием особенностей мезо- и микрорельефа, подстилающих горных пород, почв, напочвенного покрова и т. д. В экологическом же смысле влияние климата не менее значимо, чем иерархически нижестоящие экологические факторы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дудник С.В., Тарханов С.Н., Щекалёв Р.В.* Фенотипическая изменчивость сосны на территории Северо-Двинского бассейна // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск: БГИТА, 2006. Вып. 15. С. 16–18.
2. *Козубов Г.М.* О краснопыльниковой форме сосны обыкновенной // Ботанический журнал. 1962. Т. 47. № 2. С. 276–280.
3. *Коновалова М.Е., Кофман Г.Б., Коновалова А.Е.* Сопряженность признаков рельефа и типов леса в горных условиях // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 177–182.
4. *Новикова Т.Н.* Сибирские климатипы сосны в географических культурах Западного Забайкалья // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 30. № 1–2. С. 140–144.
5. *Орлов М.М.* Лесоустройство. Л.: Изд-во журнала «Лесное хозяйство, лесопромышленность и топливо», 1927. 1120 с.
6. *Погребняк П.С.* Общее лесоведение. М.: Изд-во Колос, 1968. 440 с.
7. *Сукачев В.Н.* Основы лесной типологии и биогеоценологии. Т. 1. Ленинград: Наука, 1972. 420 с.
8. *Темботова Ф.А., Моллаева М З., Пшегусов Р.Х.* Изменчивость пыльцы желто- и краснопыльниковой форм сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) на территории национального парка «Приэльбрусье» (Центральный Кавказ) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2017. Т. 11. № 4. С. 55–61.
9. *Черепнин В.Л.* Изменчивость семян сосны обыкновенной. Новосибирск: Наука, 1980. 183 с.
10. *Orloci L., Anand M., Pillar V.D.* Biodiversity analysis: issues, concepts, techniques // Community Ecology. 2002. Vol. 3. No. 2. P. 217–236.
11. *Stone J.V.* Information Theory: A Tutorial Introduction. Sebtel Press, 2015. 243 p. ISBN 978-0-9563728-5-7.

УДК 551.582, 681.518

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА И КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ CLIMATIC RESEARCH UNIT (CRU TS V. 3.22) ЗА ПЕРИОД 1931–2010 ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КЛЮЧЕВЫХ ПРИТОКОВ Р. ЕНИСЕЙ

М.А. КОРЕЦ, А.С. ПРОКУШКИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (mik@ksc.krasn.ru)

На основе базы данных CRU TS v. 3.22 выполнен анализ пространственно-временной изменчивости температуры воздуха и осадков за период 1931–2010 гг. с привязкой к ключевым водосборам р. Енисей. Показана значительная широтнозависимая и сезонная вариабельность трендов температур и осадков.

SPATIOTEMPORAL DYNAMICS OF AIR TEMPERATURES AND PRECIPITATION VALUES BASED ON CLIMATIC RESEARCH UNIT DATA (CRU TS V. 3.22) FOR THE PERIOD 1931–2010 AND FOR THE KEY TRIBUTARY WATERSHEDS OF THE ENISEY RIVER

M.A. KORETS, A.S. PROKUSHKIN

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (mik@ksc.krasn.ru)

Using the database CRU TS v. 3.22 the analysis of the spatial-temporal variability of air temperature and precipitation for the period 1931–2010 was performed for key watersheds of the Yenisei River. Significant latitude-dependent and seasonal variability of trends in temperature and precipitation is shown.

В рамках ряда НИР ИЛ СО РАН в 2015–2018 гг. ставилась задача оценки пространственно-временной изменчивости климатических условий в границах бассейна среднего и нижнего течения р. Енисей. На основе базы данных климатических показателей Climatic Research Unit Datasets (CRU TS v. 3.22) [1, 2] были рассчитаны растровые карты линейных трендов среднемесячных и среднегодовых температур, а также месячных и годовых осадков за период с 1931 по 2010 годы. Геостатистический анализ данных в ГИС (ESRI ArcGIS 10.1) позволил оценить пространственно-временную вариабельность указанных климатических параметров для 20 ключевых водосборов притоков р. Енисей (рис. 1, рис. 2). Притоки упорядочены с юга (1 – Ангара) на север (20 – Нижняя Тунгуска).

Широтное распределение водосборов обусловливает диапазон среднегодовых температур от -1 до -9 °С (рис. 1а) при относительно равномерном распределении годовых осадков в интервале 500–600 мм (рис. 1б). Исключениями являются притоки 1 –Ангара, 13 – Подкаменная Тунгуска и 20 – Нижняя Тунгуска, отмеченные более низкими средними по водосбору значениями годовых осадков (до 400 мм) и значительным разбросом минимальных и максимальных значений (рис. 1). Это обусловливается значительной площадью и протяженностью этих водосборов в юго-восточном направлении в различных физико-географических условиях.

Рассчитанные за период с 1931 по 2010 г. (80 лет) статистические показатели абсолютных линейных трендов среднегодовых температур воздуха (рис. 1в) и суммы годовых осадков (рис. 1г) показывают устойчивый годовой прирост для всех водосборов по температуре (от 0,2 до 2 °С) и преобладающий прирост по осадкам (от 0 до 85 мм), за исключением Ангары (-17 мм). Разброс годовых трендов у крупных протяженных водосборов также велик, и для Ангары в южной части максимум прироста температур достигает 2,8 °С, а минимум снижения осадков -228 мм.

Представленные на рис. 2 тренды среднемесячных температур воздуха и суммы месячных осадков показывают значительную сезонную и пространственную вариации по водосборам. Анализ распределения трендов среднемесячных температур показывает

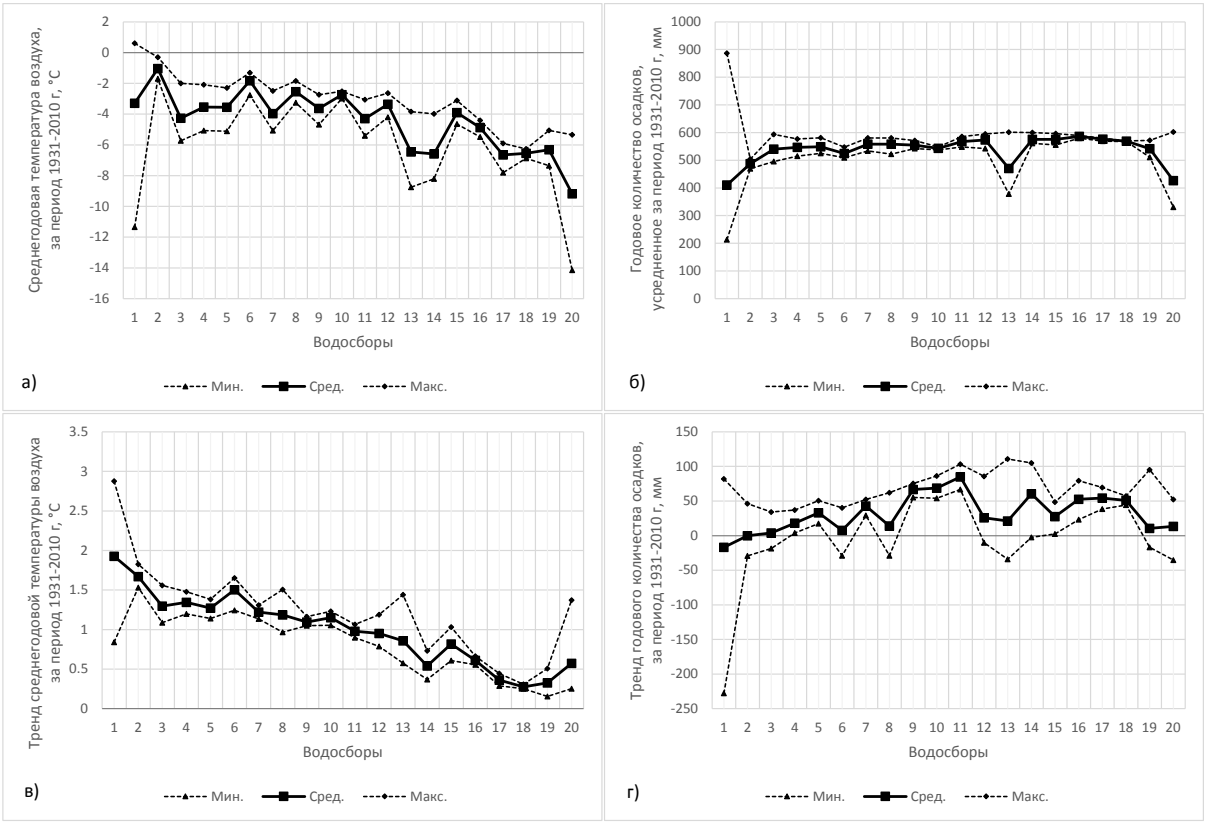


Рис. 1. Пространственно-временная вариация за период 1931–2010 гг. среднегодовых температур воздуха и годовых осадков для 20 ключевых водосборов притоков р. Енисей (названия водосборов приведены на рис. 2.): а) среднегодовая температура воздуха; б) среднемноголетнее годовое количество осадков; в) тренд среднегодовой температуры воздуха; в) тренд годового количества осадков.

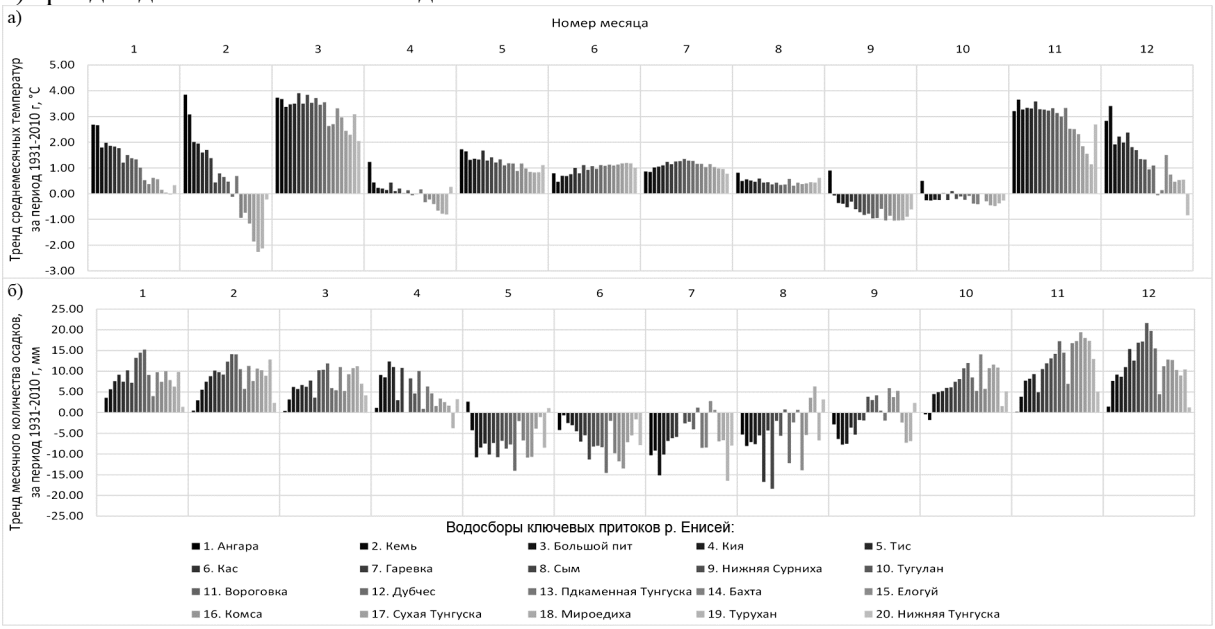


Рис. 2. Распределение трендов среднемесячных температур воздуха (а) и количества месячных осадков (б) для 20 ключевых водосборов притоков р. Енисей за период 1931–2010 гг.

преимущественно высокий положительный (до 3,8 °С) тренд температур зимних месяцев и марта, который наряду с ноябрем выделяется значительным положительным температурным трендом по всем водосборам. Преобладающий отрицательный температурный тренд (до -1°С) проявляется в межсезонья (апрель, сентябрь и октябрь). В

апреле и в особенности в феврале наблюдается смена знака температурного тренда с положительного на отрицательный в районе водосбора 13 – Подкаменная Тунгуска (рис. 2а).

Еще более четко выделяются сезонные изменения на графике распределения трендов месячных осадков (рис. 2б). Наблюдается четкое снижение (до -17 мм) осадков вегетационного периода (май – август) на фоне преобладающего роста в остальные месяцы.

Следует отметить, что амплитуда месячных и годовых трендов осадков достигает максимума в водосборах среднего течения Енисея, снижаясь к северу и югу. Иная картина у широтного распределения трендов среднемесячных температур. Величина тренда среднегодовых температур и большинства среднемесячных составляющих (ноябрь – апрель) уменьшается с юга на север. Обусловлено это, скорее всего, буферным эффектом северных океанических воздушных масс, влияние которых снижается с севера на юг из-за удаления от побережья и горных барьеров Среднесибирского плоскогорья. Последнее подтверждается достоверной обратной зависимостью (рис. 3) между величиной тренда среднегодовых и большинства среднемесячных температур с показателем степени доступности территории воздушным массам северного побережья (экспонированность, %), рассчитанного по цифровой модели рельефа местности [3].

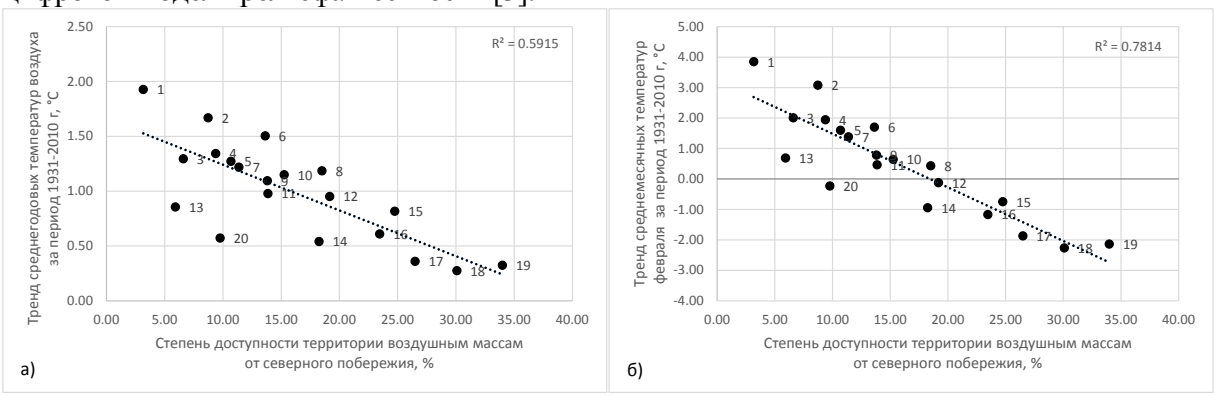


Рис. 3. Связь степени доступности территории воздушным массам от северного побережья (экспонированность территории [3]) с трендом среднегодовых температур воздуха (а) и среднемесячных температур февраля (б) за период 1931–2010 гг. для 20 ключевых водосборов притоков р. Енисей (номер водосбора указан для каждой точки, названия – на рис. 2)

Сформированные слои разносезонных климатических характеристик (средние значения, разбросы и тренды), привязанные к водосборам притоков р. Енисей, вошли в климатический блок разрабатываемой ГИС «Бассейн нижнего Енисея», который используется в задачах анализа и моделирования процессов в биогеоценозах Приенисейской Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Harris I., Jones P.D., Osborn T.J. and Lister D.H.* Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset // Int. J. Climatol. 34. 2014. Pp. 623–642. Published online 21 May 2013 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.3711.
2. *Mitchell T.D. and Jones P.D.* An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids // Int. J. Climatol. 25. 2005. Pp. 693–712. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/joc.1181 (http://badc.nerc.ac.uk/data/cru/)
3. *Onuchin A., Korets M., Shvidenko A., Burenina T., Musokhranova A.* Modeling air temperature changes in Northern Asia // ELSEVIER, Global and Planetary Change 122. 2014. Pp. 14–22. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2014.07.011.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (14-24-00113) и РФФИ (18-05-60203).

УДК 614.841

ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ И ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА ОТ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ В РОССИИ

В.Н. КОРОТКОВ

Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля, Москва, Россия (korotkovv@igce.ru)

Выполнены оценки выбросов парниковых газов (ПГ) и черного углерода (ЧУ) от природных пожаров на основе данных Информационной системы дистанционного мониторинга Рослесхоза (ИСДМ-Рослесхоз). Средняя площадь природных пожаров за период 2007–2017 гг. составила 8,9 млн га в год. В среднем выбросы парниковых газов от пожаров составили 230 млн т CO_2 в год, 690 тыс. т CH_4 в год, 40 тыс. т. N_2O в год. Выбросы черного углерода от пожаров варьировали от 11,5 до 95,2 тыс. т в год.

GREENHOUSE GASES AND BLACK CARBON EMISSIONS FROM WILDFIRES IN RUSSIA

V.N. KOROTKOV

Institute of Global Climate and Ecology named after Academician Yu.A. Israel, Moscow, Russia (korotkovv@igce.ru)

Estimates of greenhouse gas (GHG) and black carbon (BC) emissions from wildfires are estimated based on data from the Rosleskhoz Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz). The average area of wildfires for the period 2007–2017 was amounted to 8,9 million hectares per year. On average, annual greenhouse gas emissions from fires amounted to 230 mil tons of CO_2, 690 thousand tons of CH_4, 40 thousand tons of N_2O. Black carbon emissions from fires ranged from 11,5 to 95,2 thousand tons per year.

Выполнены оценки выбросов парниковых газов (ПГ) и черного углерода (ЧУ) от природных пожаров на основе данных Информационной системы дистанционного мониторинга Рослесхоза (ИСДМ-Рослесхоз). По официальным статистическим данным, ежегодно в России регистрируется от 10 до 33 тысяч лесных пожаров, охватывающих площади от 1,2 до 3,6 млн га (за период 2007–2017 г) [1]. К сожалению, в последние годы информация собирается Рослесхозом по общей площади пожаров без деления на типы пожаров.

По данным Информационной системы дистанционного мониторинга Федеральной службы лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз), средняя площадь природных пожаров за тот же период составила 8,9 млн га в год [2], из которых 10,8 % приходилось на погибшие в результате пожаров древостои (верховые пожары), 36,6 % – на низовые пожары и 52,6 % – на пожары на непокрытых лесом землях. В последние годы разница между официальными статистическими данными и данными ИСДМ-Рослесхоз уменьшается (рис. 1).

Оценку выбросов каждого парникового газа и черного углерода от пожаров разных типов рассчитывали по формуле [3]:

$$L_{пожар} = A \bullet MB \bullet C_f \bullet G_{ef} \bullet 10^{-3},$$

где $L_{пожар}$ – выброс от пожара, тонн; A – площадь пожара, га; MB – масса доступного для горения топлива, тонн/га; C_f – коэффициент сгорания; без размерности [3]; G_{ef} – коэффициент выбросов ЧУ, г/кг сжигаемого сухого вещества [4].

Динамика выбросов ПГ (CO_2, CH_4, N_2O) от пожаров разных типов представлена на рис. 2. За рассматриваемый период объем выбросов ПГ варьировал от 160 до 510 млн т CO_2-экв. в год. В среднем объем выбросов от пожаров составил 230 млн т CO_2 в год, 690 тыс. т CH_4 в год, 40 тыс. т. N_2O в год. В среднем за рассматриваемый период 40,7 % выбросов ПГ приходится на низовые пожары, 34,7 % – на верховые, 24,5 % – на пожары на непокрытых лесом землях. Объем выбросов ЧУ от пожаров – от 11,5 до 95,2 тыс. т в год.

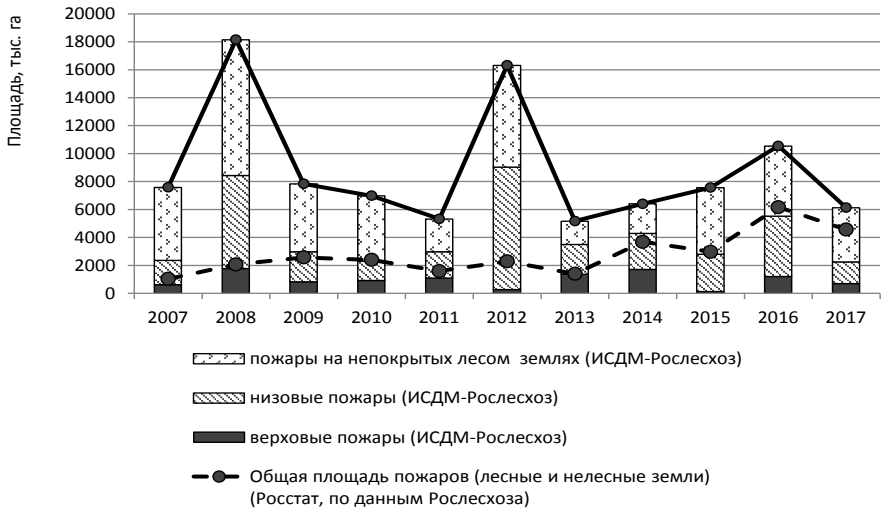


Рис. 1. Сравнительная оценка площадей пожаров по данным ИСДМ-Рослесхоз и по данным Росстата

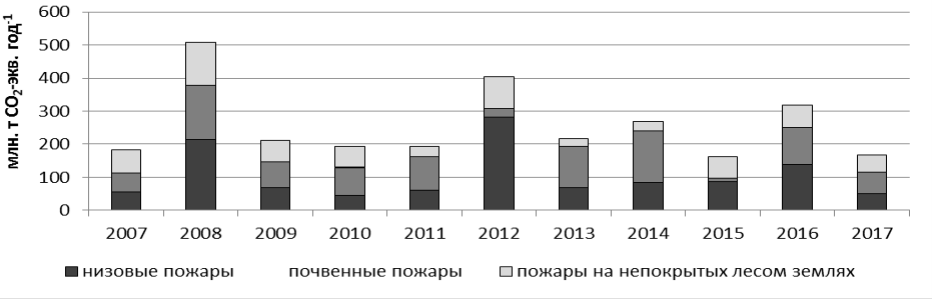


Рис. 2. Динамика суммарных выбросов парниковых газов (CO_2, CH_4, N_2O) от пожаров разных типов, рассчитанная на основе данных ИСДМ-Рослесхоз по площадям пожарных нарушений

Значительные колебания объема выбросов парниковых газов и черного углерода связаны не только с вариацией общей площади пожарных нарушений, но и с разным соотношением площадей разных типов пожаров в разные годы. Неопределенности оценок выбросов в основном связаны с неопределенностями коэффициентов выбросов, запасов доступного для горения органического вещества, а также с разными оценками площадей пожаров разных типов. В частности, в настоящее отсутствует достоверная информация по подземным пожарам, для которых характерны самые высокие коэффициенты выбросов. Не до конца ясен вопрос и о количестве углерода, аккумулируемого в древесном угле, который сохраняется длительное время в почве, а также об объемах и длительности послепожарных эмиссий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Российский* статистический ежегодник. 2018: стат.сб. М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. 694 с.
2. *Информационная* система дистанционного мониторинга лесов Федеральной службы лесного хозяйства Рослесхоза. [Электронный ресурс.] URL: https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml.
3. *Руководящие* принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. Т. 4. Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2006. [Электронный ресурс.] URL: https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/.
4. *Akagi S.K., Yokelson R.J., Wiedinmyer C., Alvarado M.J., Reid J.S., Karl T., Crounse J.D., and Wennberg P.O.* Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models // Atmos. Chem. Phys. 2011. 11. P. 4039–4072. DOI: 10.5194/acp-11-4039-2011.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 18-05-60183).

УДК 574.474

УНИКАЛЬНЫЙ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫЙ ЛЕС С ПРЕОБЛАДАНИЕМ *TILIA CORDATA* И *ULMUS GLABRA* В ОХРАННОЙ ЗОНЕ ВИСИМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В.Н. КОРОТКОВ[1], Д.С. ШИЛОВ[2], Р.З. СИБГАТУЛЛИН[2], О.В. СМИРНОВА[3], А.П. ГЕРАСЬКИНА[3]

[1] Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля, Москва, Россия (korotkovv@igce.ru)
[2] Висимский государственный природный биосферный заповедник, Кировград, Россия (sulem@yandex.ru)
[3] Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия (ovsinfo@gmail.com)

Уникальный массив полидоминантных разновозрастных хвойно-широколиственных лесов с преобладанием *Tilia cordata* и *Ulmus glabra* и с участием *Picea obovata, Abies sibirica* и *Pinus sibirica* был обнаружен в охранной зоне Висимского заповедника (близ его восточной границы). Обследованный участок является самым восточным массивом хвойно-широколиственных лесов на Среднем Урале, расположенным в подзоне южной тайги. Подобные фрагменты хвойно-широколиственных лесов известны лишь западнее от обследованного участка.

UNIQUE CONIFEROUS-BROADLEAVED FORESTS WITH A PREDOMINANCE TILIA CORDATA AND ULMUS GLABRA IN THE BUFFER ZONE OF VISIMSKY NATURE RESERVE (SVERDLOVSK REGION)

V.N. KOROTKOV[1], D.S. SHILOV[2], R.Z. SIBGATULLIN[2], O.V. SMIRNOVA[3], A.P. GERASKINA[3]

[1] Institute of Global Climate and Ecology named after Academician Yu.A. Izrael, Moscow, Russia (korotkovv@igce.ru)
[2] Visimsky State Natural Biosphere Reserve, Kirovgrad, Russia (sulem@yandex.ru)
[3] Center for Problems of Ecology and Forest Productivity, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia (ovsinfo@gmail.com)

Unique polydominant uneven-aged coniferous-broadleaved forests with a predominance of *Tilia cordata* and *Ulmus glabra* and with the participation of *Picea obovata, Abies sibirica* and *Pinus sibirica* was discovered in the buffer zone of Visimsky nature reserve (near its eastern border). Investigated site is the most eastern massif of coniferous-broadleaved forests in the Middle Urals, located in the southern taiga subzone. Similar forests are known only to the west of the investigated site.

В мае 2019 г. были проведены исследования лесного массива (растительного покрова, почвенной биоты и почв), расположенного в кварталах 26, 36, 46, 55, 64, 77, 91, 102 охранной зоны Висимского заповедника (Свердловская область). Был выявлен участок полидоминантных разновозрастных хвойно-широколиственных лесов с преобладанием *Tilia cordata* и *Ulmus glabra* и с участием *Picea obovata, Abies sibirica* и *Pinus sibirica*. Помимо перечисленных видов деревьев отмечены очень крупные экземпляры *Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*, *Betula pendula* и *Populus tremula*. Обследованный участок является самым восточным массивом хвойно-широколиственных лесов на Среднем Урале, расположенным в подзоне южной тайги. Этот участок расположен восточнее границы распространения хвойно-широколиственных лесов. Подобные фрагменты хвойно-широколиственных лесов известны лишь западнее от обследованного участка (Сабарский заказник, Бардымский хребет, Коноваловский увал). Обследованный лесной массив отличается высоким уровнем видового разнообразия сосудистых растений. На ограниченной площади выявлено более 100 видов сосудистых растений, в том числе охраняемые виды растений, занесенные в Красную книгу Свердловской области (*Anemone reflexa, Knautia*

tatarica, Lilium martagon, Allium microdictyon, Paeonia anomala, Lactuca macrophylla subsp. uralensis). Кроме того, здесь обильно представлены виды, которые редко встречаются на территории Висимского заповедника: *Corydalis solida, Gagea lutea, Delphinium elatum, Neottia nidus-avis, Festuca altissima, Matteuccia struthiopteris, Seseli krylovii, Scrophularia nodosa* и др. Видовая насыщенность составляет 30–40 видов сосудистых растений на 10 м^2.

Наряду с участками короткопроизводных смешанных лесов с преобладанием липы и вяза, сформировавшихся после сплошных рубок, выявлены фрагменты старовозрастных хвойно-широколиственных лесов с разновозрастными популяциями древесных видов. Высота хвойных видов деревьев (*Abies sibirica, Picea obovata, Pinus sibirica*) достигает 27–30 м, а диаметры стволов на высоте 1,3 м – 70–80 см. Кроме того, отмечены уникальные экземпляры *Tilia cordata*, достигающей высоты 25–27 м и диаметра ствола 60–70 см, а также *Ulmus glabra* высотой 15–18 м и диаметром 40–50 см. Выявлено исключительное богатство и разнообразие почвенных беспозвоночных. Такие фрагменты хвойно-широколиственных лесов уникальны для Среднего Урала и не встречаются на территории Висимского заповедника.

Сопоставление выявленного разнообразия, структуры и состава лесного массива охранной зоны заповедника с исследованными ранее наиболее ценными лесами Северной Евразии показывает их исключительную ценность и уникальность [1].

Учитывая высокую природоохранную ценность и уникальность исследованного массива леса в охранной зоне Висимского заповедника, целесообразно обеспечить дополнительные меры его охраны путем присоединения этой территории к заповеднику или организации ООПТ регионального значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *European* Russian Forests. Their Current State and Features of Their History / O.V. Smirnova, M.V. Bobrovsky, L.G. Khanina (eds.). Heidelberg: Springer, 2017. 566 p.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-04-00609).

УДК

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТРИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И.П. КОТЛОВ[1], Т.В. ЧЕРНЕНЬКОВА[2], Н.Г. БЕЛЯЕВА[2], М.Ю. ПУЗАЧЕНКО[2], О.В. МОРОЗОВА[2]

[1] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, Москва, Россия (ikotlov@gmail.com)
[2] Институт географии РАН, Москва, Россия (chernenkova50@mail.ru)

В работе рассматривается ландшафтно-экологический подход к оценке и измерению пространственной структуры лесных экосистем, их мозаичности и фрагментации. Оценена территория Московской агломерации в разрезе муниципальных образований.

LANDSCAPE ECOLOGICAL METRICS OF VEGETATION COVER IN MOSCOW REGION

I.P. KOTLOV[1], T.V. CHERNENKOVA[2], N.G. BELYAEVA[2], M.Yu. PUZACHENKO[2], O.V. MOROZOVA[2]

[1] Severtsov Institute of problems of ecology and evolution, Moscow, Russia (ikotlov@gmail.com)
[2] Institute of geography RAS, Moscow, Russia (chernenkova50@mail.ru)

The paper considers the landscape-ecological approach to the assessment of the spatial structure of forest ecosystems, their mosaic and fragmentation. The territory of the Moscow agglomeration in the context of municipalities is estimated.

Проблема гармоничного сочетания антропогенной деятельности с окружающей средой для Московского региона стоит крайне остро. Устойчивое лесопользование означает управление лесами таким образом, чтобы обеспечивались их биологическое разнообразие, продуктивность, возобновление, жизнеспособность, а также выполнение лесами экологических, экономических и социальных функций [3].

Лесные экосистемы Московской области уже с XVI в. были затронуты глубокими антропогенными преобразованиями, и снижение качества лесного покрова региона происходило по всем направлениям с разной интенсивностью для разных периодов его истории. Зональные широколиственно-хвойные леса сменились производными насаждениями по большей части из мелколиственных пород, произошло изменение биоразнообразия и снижение устойчивости экосистем к внешним повреждающим факторам [1].

Одним из индикаторов нарушенности является степень фрагментации пространственной мозаики экосистем. Для измерения фрагментации широко распространены ландшафтно-экологические метрики – количественные геометрические характеристики лесных участков и особенностей их взаимного расположения: сложность формы, площадь экологических ядер, контрастность границ, агрегированность и другие. Ландшафтно-экологические метрики опираются на теорию островной биогеографии Макартура и Уилсона и с 1980-х гг. применяются к массивам малонарушенных экосистем, в том числе лесных, преобразованных под воздействием антропогенного фактора. Подтверждена связь метрик с видовым разнообразием и устойчивостью экосистем, а также с поведением отдельных видов [2].

В качестве объекта изучения был выбран лесной покров Московской области, Исследование опирается на обширную базу из более чем 1000 геоботанических описаний, классификация которых выполнена с использованием эколого-фитоценотического подхода. В настоящей работе анализ состояния лесного покрова произведен на формационном уровне.

Интегральная оценка состояния лесов городских округов (ранее муниципальных

районов) Московской области проведена по следующим показателям: доля коренных и условно-коренных лесов от общей лесопокрытой площади, лесистость, средняя площадь выдела, индекс формы выдела, близость, взаимное соседство гомогенных классов друг с другом, индекс разнообразия Шеннона. Метрики рассчитаны при помощи ПО *Fragstats*, формулы расчета приводятся в методическом руководстве [2]. По полученным расчетным метрикам выполнена классификация методом *k*-средних. В табл. 1 приведены значения индикаторов для некоторых районов.

Таблица 1. Значения индикаторов и пространственных метрик для некоторых районов Московской области

Показатель	Раменский	Воскресенский	Талдомский	Можайский	Луховицкий
Лесистость, %	40,55 %	37,12 %	50,80 %	52,71 %	21,16 %
Доля условно-коренных, %	24,31 %	13,20 %	7,06 %	21,84 %	2,95 %
Ср. площадь выдела, га	2,62	3,34	8,19	3,03	4,86
Индекс формы выдела, б/р	1,11	1,15	1,16	1,12	1,22
Близость, б/р	2,47	3,90	74,69	3,31	7,56
Взаимное соседство, б/р	21,36	30,86	63,84	29,37	29,44
Индекс Шеннона, б/р	2,45	2,15	1,14	2,18	1,28
Номер класса	2	5	3	4	1

Выделено 5 классов муниципальных районов, отражающих состояние лесного покрова Московской области (рис. 1). Районы с наиболее ценными лесными массивами сосредоточены на севере и востоке Московской обл. Особо выделяются леса Талдомского, Шатурского, Егорьевского, Орехово-Зуевского и Щелковского районов. Уступающие по своей экологической значимости лесные экосистемы расположены в Клинском, Сергиево-Посадском, Одинцовском, Павлово-Посадском, Пушкинском и Чеховском районах. Леса Наро-Фоминского, Ногинского, Дмитровского, Солнечногорского, Истринского, Рузского, Серпуховского районов характеризуются средним состоянием.

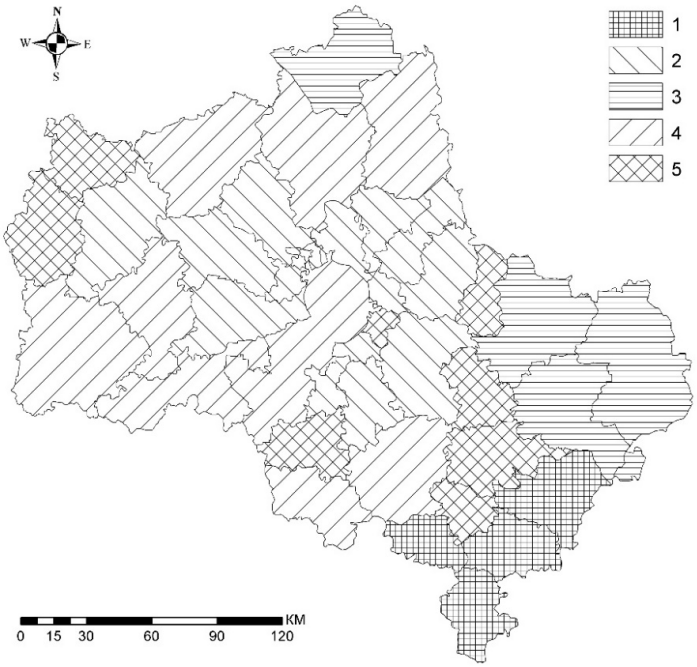


Рис. 1. Классификация муниципальных районов Московской области по индикаторам и метрикам фрагментации. В легенде указаны номера классов в соответствии с таблицей

К наиболее нарушенным в силу высокой антропогенной нагрузки (сильно фрагментированные, небольшие по площади, большая доля длительно-производных мелколиственных насаждений) следует отнести леса Ленинского, Люберецкого и Домодедовского районов. К этой же группе относятся леса Шаховского и Волоколамского районов, в которых небольшие по площади лесные массивы сильно разрознены, а также леса лесостепных муниципальных районов – Зарайского и Каширского. Территория «Новой Москвы», как видно из картосхемы, отличается достаточно хорошими показателями интегральной экологической ценности лесного покрова. Следует, видимо, ожидать их снижения, особенно очевидного для Ленинского района, примыкающего к МКАД.

Наблюдается относительная независимость трех групп метрик: лесистости, фрагментации и разнообразия. В ряде случаев при средней лесистости и высоком разнообразии отмечена значительная фрагментация лесов (второй и четвертый класс). Другой вариант – при средних показателях – наименьшая фрагментация лесов (третий класс). Для районов южных и западных, характеризующихся высоким уровнем сельскохозяйственного освоения, наблюдаются наихудшие показатели по всем параметрам (классы 1 и 5).

Таким образом, ландшафтно-экологические метрики демонстрируют возможность успешного использования для региональной оценки состояния лесного покрова.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Черненькова Т.В., Морозова О.В., Беляева Н.Г., Пузаченко М.Ю.* Современная организация лесных сообществ с участием широколиственных пород в зоне широколиственно-хвойных лесов (на примере Московской области) // Растительность России. 2018. № 33. С. 107– 130. DOI: 10.31111/vegrus/2018.33.107.
2. *McGarigal, K., Cushman S.A., Ene E.* FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2012. [Электронный ресурс.] URL: http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html.
3. *Ministerial* conference on the protection of forest in Europe (MCPFE). Sound forestry – Sustainable development. Helsinki: Ministry of Agr. And For., 1993. 161 p.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 18-17-00129 в части пространственного анализа биоразнообразия лесов. Для хранения и анализа материалов полевых геоботанических описаний использована база данных FORDIV (св. о гос. регистрации № 2014620979). Авторы благодарят коллег, принявших участие в ее наполнении.

УДК 58:561:581.48:551.794

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЖЕНСКИХ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ХВОЙНЫХ КАК НАДЕЖНЫЕ ПРИЗНАКИ ВИДОВОЙ ДИАГНОСТИКИ ИХ ИСКОПАЕМЫХ АНАЛОГОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ДИНАМИКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ

А.Д. КОШКАРОВ, В.Л. КОШКАРОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (koshkarov.al@ksc.krasn.ru)

Изучены женские генеративные органы хвойных растений из голоценовых торфяных отложений Средней Сибири в сравнении с таковыми современных хвойных растений. Установлены дополнительные морфологические критерии строения женских генеративных органов, повышающие точность видовой идентификации ископаемых хвойных растений, что способствует высокой детализации палеореконструкций.

MORPHOLOGICAL PECULIARITIES OF FEMALE GENERATIVE ORGANS OF SOME SPECIES OF CONIFEROUS AS RELIABLE SIGNS OF SPECIAL DIAGNOSTICS OF THEIR FOSSIBLE ANALOGUES DURING RECONSTRUCTION OF CLIMATIC TRAINS DYNAMICS

A.D. KOSHKAROV, V.L. KOSHKAROVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc, Krasnoyarsk, Russia

Female generative organs of coniferous plants from Holocene peat sediments of Middle Siberia were studied in comparison with those of modern coniferous plants. Additional morphological criteria for the structure of female generative organs have been established, which increase the accuracy of species identification of fossil coniferous plants, which contributes to the high detail of paleoreconstructions.

В остатках голоценовых флор среди женских генеративных органов хвойных встречаются целые, но чаще всего фрагментированные шишки, семена и чешуи шишек *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr., *Larix sibirica* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour. и *Pinus pumila* (Pall.) Regel., близкие по морфологии. Однако по своим биологическим и лесоводственным свойствам эти виды древесных растений существенно отличаются [3–6, 9–14 и др.]. Поэтому для более точной видовой идентификации генеративных органов хвойных пород, близких по роду и морфологии, проводилось их углубленное сравнительное морфолого-анатомическое изучение – как современных, так и ископаемых. Установлено, что голоценовые семена и семенные чешуи шишек имеют однотипное с таковыми у современных растений морфолого-анатомическое строение. Они отличаются от последних только приглушенной окраской серого цвета, насыщенность которого прямо пропорциональна возрасту объектов. Анализ диагностических признаков семян и семенных чешуй шишек этих видов, указанных в упомянутой выше литературе, выявил дополнительные новые критерии морфологического строения, что позволило более точно детализировать видовую дифференциацию ископаемых остатков.

Для первых двух близких видов рода *Larix* к выявленным дополнительным деталям их морфологического строения относятся: особенности строения верхней части семенной чешуи, степень опушенности ее волосками и цвет последних, а также поверхностная скульптура внутренней части семени. Кроме того, обескрыленные семена *L. sibirica* имеют плавно суженное основание, а на их выпуклой стороне имеется четко выраженное косое широкое одностороннее ступенчатое понижение – след крыла. У *L. gmelinii* основание семени узкое в виде носика, и на его выпуклой поверхности имеются сходящиеся углом узкие выемки, т. е. носик охватывает крыло с двух сторон в виде «шарфика» (рис. 1).

Для двух других близких видов рода *Pinus* было установлено, что поверхность семенных чешуй *P. sibirica* опушена редкими белыми волосками, щиток в два раза толще, выпуклей и имеет форму вытянутого ромба; кожура семян рыхлая, скульптура поверхности ямчатая. У *P. pumila* верхняя часть семенных чешуй широко эллиптическая, щиток в виде наплывающего наружу валика с небольшим пупком в центре; наружная поверхность под ним морщинисто-ребристая, густо опушена светло-желтыми волосками; кожура семян плотная, скульптура поверхности мелкоячеистая (рис. 2).

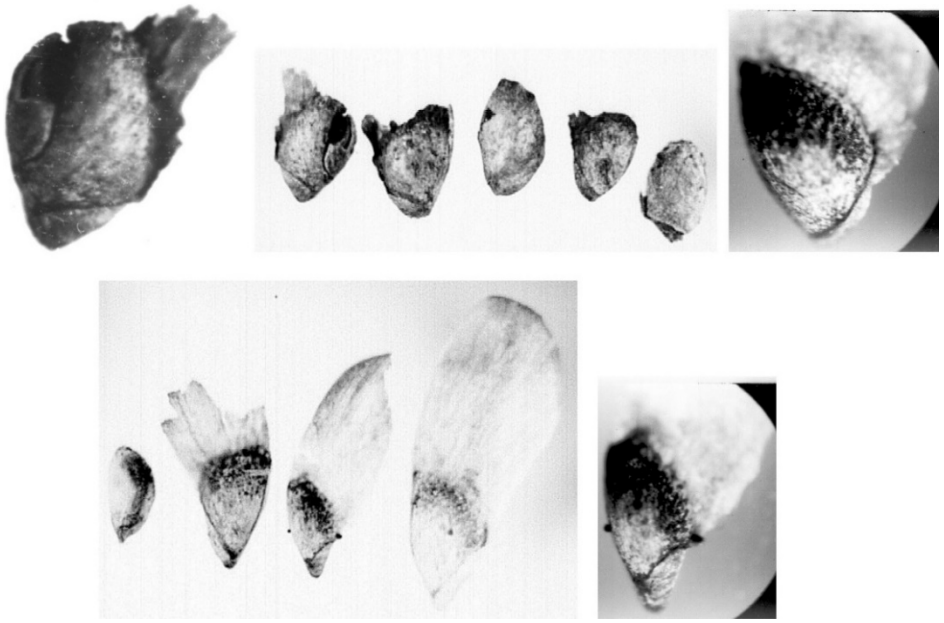


Рис. 1. Фотографии ископаемых семян рода *Larix*
Верхний ряд – *Larix sibirica* Ledeb.; нижний ряд – *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.

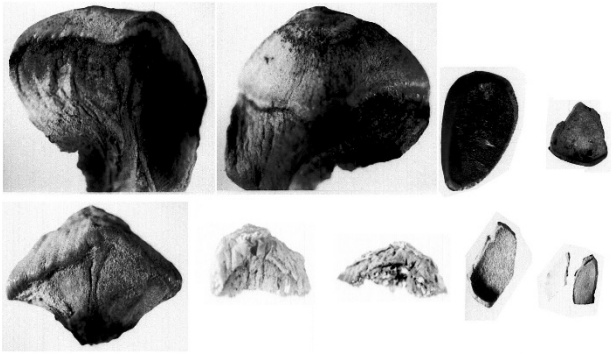


Рис. 2. Фотографии ископаемых рода *Pinus*
Верхний ряд – две семенные чешуи шишек, семя и фрагмент семени – *Pinus sibirica* Du Tour; нижний ряд – три верхних части семенных чешуй шишек, два фрагмента семени – *Pinus pumila* (Pall.) Regel.

Таким образом, установленные дополнительные детали морфологического строения генеративных женских органов хвойных позволили более точно диагностировать ископаемые таковых до вида, что в свою очередь способствовало более точной палеореконструкции динамики их ареалов. Так, например, особого внимания заслуживают голоценовые комплексы Средней Сибири, в которых совместно

присутствуют макроостатки трех эдификаторов — *Larix gmelinii*, *L. sibirica* и *Pinus pumila* – границы их современных ареалов образуют специфичную зону прямого контакта [1], расположенную значительно восточнее и южнее совместных местонахождений их ископаемых представителей. Она стала аналоговой территорией не только для реконструкции динамики ареалов, но и для определения типов растительности и климата, в котором они существовали намного севернее их современного произрастания [7, 8].

По данным радиоуглеродного датирования, такая зона формировалась дважды в атлантическом оптимуме голоцена: 6000 лет назад на территории Субарктики [2, 8] и 4990 лет назад в центральной части Эвенкии [7]. Данный факт требует дальнейшего исследования, поскольку реконструкция динамики ареалов этих пород способствует раскрытию детальных климатических изменений местного и регионального значения в контексте глобальных флуктуаций климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абаимов А.П., Карпель Б.А., Коропачинский И.Ю.* О границах ареалов сибирских видов лиственницы // Бот. журн. 1980. Т. 65. № 1. С. 118–120.
2. *Бардеева М.Л., Исаева Д.Л., Андреева С.М. и др.* Стратиграфия, геохронология и палеогеография позднего плейстоцена и голоцена севера Среднесибирского плоскогорья // Геохронология четвертичного периода. М.: Наука, 1980. С. 198–207.
3. *Бобров Е.Г.* Лесообразующие хвойные СССР. Л., 1978. 188 с.
4. *Дорофеев П.И.* Новые данные о плейстоценовых флорах Белоруссии и Смоленской области // Материалы по истории флоры и растительности СССР. М.–Л., 1963. С. 5–180.
5. *Кац Н.Я., Кац С.В., Кипиани М.Г.* Атлас и определитель плодов и семян, встречающихся в четвертичных отложениях СССР. М., 1965. 366 с.
6. *Коропачинский И.Ю.* Древесные растения Сибири. Новосибирск, 1983. 384 с.
7. *Кошкаров А.Д., Кошкарова В.Л.* Многовековая динамика морфоструктуры лесных экосистем в центральной части Эвенкии в контексте глобальных изменений климата // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) 2018. # 9 (54). 4–8 с.
8. *Кошкарова В.Л., Ваганов Е.А., Кошкаров А.Д.* Пространственно-временная динамика лесной растительности Субарктики Средней Сибири за последние 9 тысяч лет // Доклады Российской Академии Наук. 1997. Т. 355. № 5. С. 712–715.
9. *Моложников В.Н.* Кедровый стланик горных ландшафтов Северного Прибайкалья. М., 1975. 203 с.
10. *Никитин П.А.* Плиоценовые и четвертичные флоры Воронежской области. М.–Л., 1957. 206 с.
11. *Сукачев В.Н.* Дендрология с основами лесной геоботаники. Л., 1934. 614 с.
12. *Тихомиров Б.А.* К происхождению ассоциаций кедрового стланика (*Pinus pumila* Rgl.) // Материалы по истории флоры и растительности СССР. М.–Л., 1946. Т. II. С. 490–537.
13. *Флора* Сибири. Новосибирск, 1987–2003. Т. 1–14.
14. *Хоментовский П.А.* Экология кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) на Камчатке (общий обзор). Владивосток, 1995. 227 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы признательны академику Е.А. Ваганову за помощь в организации полевых исследований. Обработка полевого материала выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-04-01068).

УДК 56:581.524.3:"551.796":581.48

МНОГОВЕКОВАЯ ДИНАМИКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЭВЕНКИИ

А.Д. КОШКАРОВ, В.Л. КОШКАРОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (koshkarov.al@ksc.krasn.ru)

Проведена реконструкция лесного покрова юго-восточной части Эвенкии на основе анализа динамики видового состава голоценовых палеокарпологических комплексов с учетом данных радиоуглеродного датирования. Выявлены особенности трансформации лесных фитоценозов при изменении эколого-климатического режима.

SEVERAL THOUSAND YEARS DYNAMICS OF BIOLOGICAL DIVERSITY OF FOREST ECOSYSTEMS OF THE SOUTHEAST OF THE EVENKIA

A.D. KOSHKAROV, V.L. KOSHKAROVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc, Krasnoyarsk, Russia

The forest cover of the southeastern part of Evenkia was reconstructed based on the analysis of the dynamics of the species composition of the Holocene paleocarpological complexes taking into account radiocarbon dating data. The features of the transformation of forest phytocenoses with a change in the ecological and climatic regime are revealed.

Для правильного понимания причин, под воздействием которых формируется современный лесной покров любого региона, кроме анализа физико-географических условий, большое значение имеют знания по истории распространения видов растений, особенно лесообразующих древесных пород, и многовековой эволюции растительности, неразрывно связанной с развитием всего комплекса природных условий. Сведения о голоценовой истории лесов Эвенкии имеются в основном в работах палинологов [2–5 и др.], в которых раскрыты ее общие закономерности. Однако динамика биоразнообразия лесных экосистем и отдельных типов растительных формаций голоцена изучена слабо.

В данном сообщении представлены результаты палеокарпологического исследования 7 голоценовых разрезов (4 – лесных почв, 3 – торфяных отложений), заложенных на тестовом участке «Тура – Стрелка-Чуня». Для всех разрезов построены карпограммы (гистограммы, показывающие количественное распределение макроостатков видов растений в выделенных ископаемых комплексах в соответствии со стратиграфией разреза), например, рис. 1. В результате сравнительного анализа видового состава палеокарпологических комплексов и опубликованных спорово-пыльцевых спектров [2, 6] с учетом данных радиоуглеродного датирования по ^{14}C [6] была восстановлена картина развития лесных фитоценозов детально по гипсометрическим уровням и временным периодам голоцена. Установлены естественные смены лесного покрова за последние 9000 лет, для некоторых из них определены количественные характеристики палеоклиматов. Опираясь на эколого-фитоценотическую карту современного растительного покрова Сибири [1], составили карты распределения типов растительности, установленных по временным отрезкам для тестового участка с учетом эколого-биологических особенностей древесных пород и сопутствующих им компонентов травяно-кустарничкового яруса (например, рис. 2). Они отразили закономерности существовавших климатических условий поясно-зонального и интразонального характера.

Анализ поэтапных смен типов растительности позволил выявить климатогенные тенденции развития лесных экосистем. В начале рассматриваемого времени в результате потепления и повышения влажности увеличивается биоразнообразие растительного покрова и расширяется формация темнохвойных (кедр, ель). С нарастанием континентальности климата и похолоданием биоразнообразие падает, а доминирующими типами растительности становятся светлохвойные (сосна, лиственница). Особо следует отметить отступание на запад лиственницы сибирской и расширение ареалов лиственницы даурской и кедрового стланика на рубеже климатического оптимума голоцена.

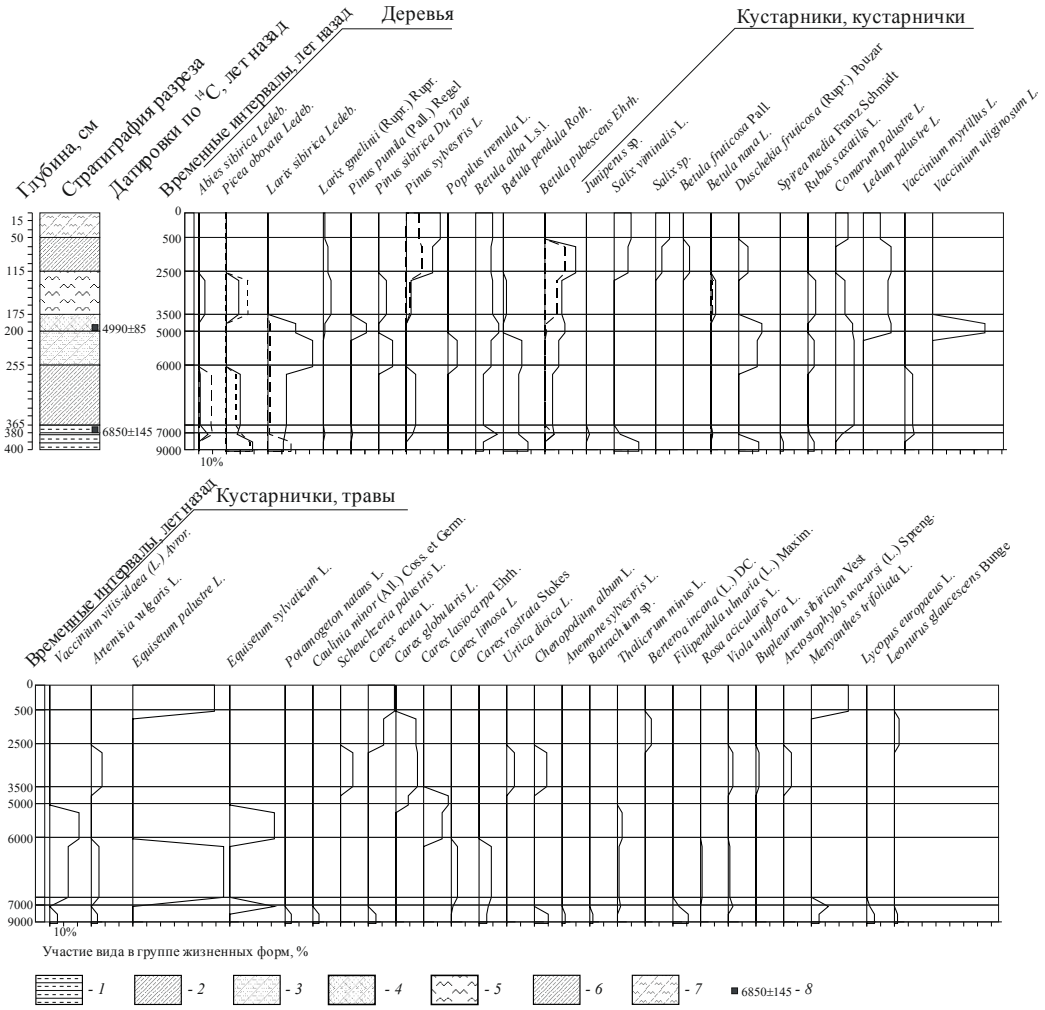


Рис. 1. Карпограмма разреза «Стрелка-Чуня»

1 – Суглинок. Виды торфа: 2– осоково-гипновый, 3 – сфагново-осоковый с гипновым, 4 – хвощово-осоково-гипновый, 5 – сфагновый, 6 – гипново-осоковый, 7 – гипново-сфагновый, 8 – глубина отбора образцов на радиоуглеродный анализ и датировки по ^{14}C

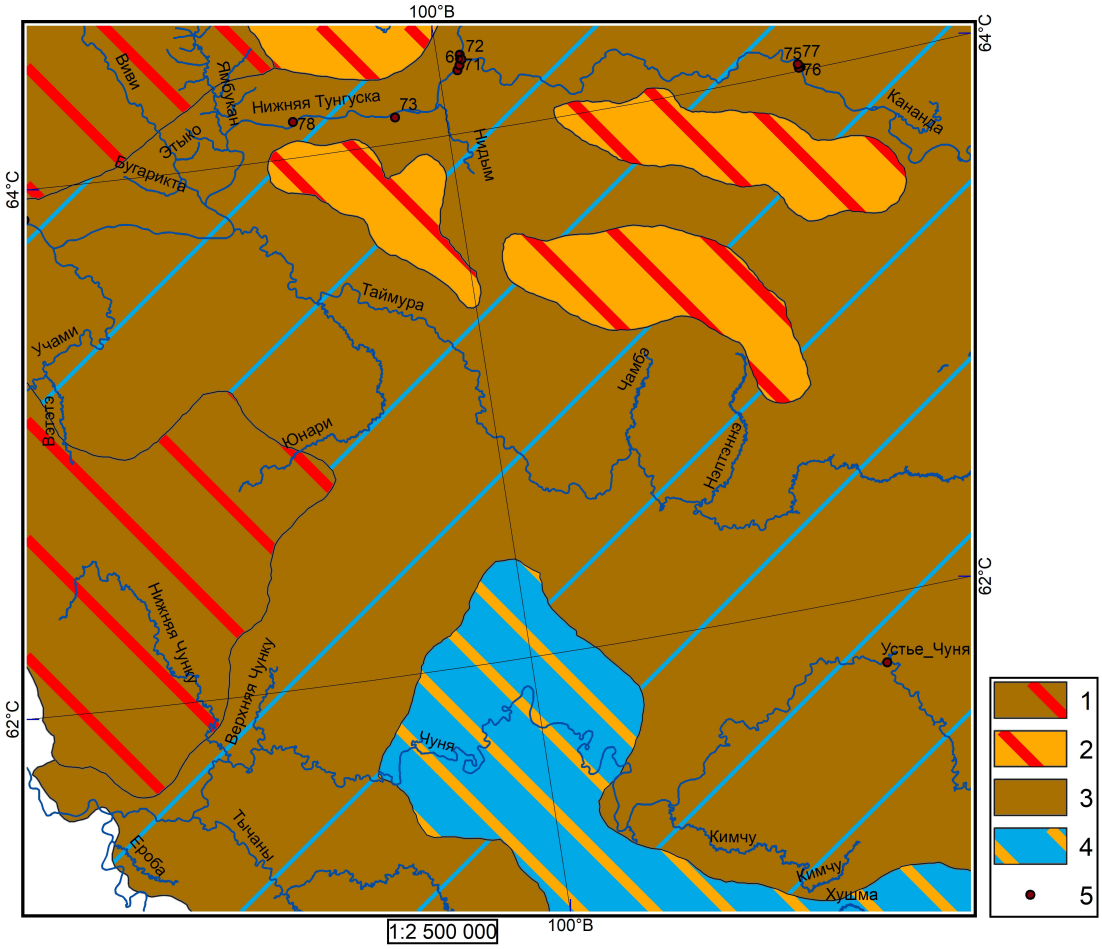


Рис. 2. Карта распределения типов растительности на тестовом участке «Тура – Стрелка-Чуня» 3500–5000 лет назад

Типы растительности: 1 – кедрово-лиственничный с елью северотаежный, 2 – лиственничные редколесья с участием *Pinus pumila* (Pall.) Regel, 3 – березово-лиственничный с *Larix sibirica* Ledeb., *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr., *Pinus pumila* (Pall.) Regel северотаежный, 4 – сосново-березовый с *Larix sibirica* Ledeb. среднетаежный, 5 – местоположение разрезов

ЛИТЕРАТУРА

1. *Букс И.И., Байбородин В.Н., Тимирбаева Л.С.* Корреляционная эколого-фитоценотическая карта. М. 1:7500000 / Ред. акад. В.Б. Сочава. Иркутск: Ин-т географии Сибири СО АН СССР, 1977.
2. *Кольцова В.Г.* История среднетаежных лиственничников юга Эвенкии в голоцене // Палеоботанические исследования в лесах Северной Азии. Новосибирск: Наука, 1981. С. 44–62.
3. *Кутафьева Т.К.* История лесной растительности междуречья Нижней и Подкаменной Тунгусок в голоцене: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Красноярск, 1974. 29 с.
4. *Мешкова Ю.И.* Палинологические данные к характеристике растительности и особенностей климата в плейстоцене и голоцене Средней Сибири // Спорово-пыльцевой анализ при геоморфологических исследованиях. М.: МГУ, 1971. С. 147–160.
5. *Пьявченко Н.И., Толейко Л.С.* Послеледниковая история лесов в бассейне р. Подкаменной Тунгуски по данным палинологического анализа // Лесоведение. 1967. № 1. С. 20–27.
6. *Стариков Э.В., Жидовленко В.А.* Радиоуглеродные датировки органогенных образцов, взятых в гидроморфных экосистемах // Гидроморфные лесоболотные экосистемы. Красноярск: ИЛиД, 1986. С. 130–139.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы признательны академику Е.А. Ваганову за помощь в организации полевых исследований. Обработка полевого материала выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-04-01068).

УДК 630.181+632.78

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СОПРЯЖЕННОСТЬ ДЕФОЛИАЦИИ ЛЕСОВ В ОЧАГАХ МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ НЕПАРНОГО ШЕЛКОПРЯДА

П.А. КРАСНОПЕРОВА, О.В. ТАРАСОВА

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (krasnoperovasfu@yandex.ru)

Непарный шелкопряд в период вспышки массового размножения поражает лесные массивы на сотни гектаров. Проводя пространственно-временной анализ очагов дефолиации лесных массивов, можно сопоставить территории, на которых дефолиация протекает одновременно, а также синхронизировать вспышки массового размножения насекомого по дефолиации лесов.

SPATIAL-TEMPORAL DISTRIBUTION OF FORESTS DEFOLIATION DURING OUTBREAKS OF LYMANTRIA DISPAR L

P.A. KRASNOPEROVA, O.V. TARASOVA

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (krasnoperovasfu@yandex.ru)

Outbreaks of gypsy moth, *Lymantria dispar* L., lead to defoliation of forests. The main idea of this study is to synchronize the processes of forests defoliation and insects' outbreaks. The territories where defoliation proceeds simultaneously are compared conducting a spatial-temporal analysis of the area of forests defoliation. It allows to synchronize insects' outbreaks by forests defoliation.

Лесные экосистемы – это сложные многокомпонентные организмы, в которых изменение состояния одного компонента может влиять на все остальные, менять баланс и равновесие всей системы. Изучением насекомых-филлофагов занимаются ученые всего мира на протяжении длительного времени. Особый интерес уделяют видам, дающим вспышки массового размножения. Одним из таких видов является непарный шелкопряд *Lymantria dispar* L. Проводя наблюдения за динамикой численности насекомого, можно предотвратить или прогнозировать последствия вспышки массового размножения. На данный момент динамика численности насекомых является наиболее информативным показателем состояния популяции того или иного насекомого. Но динамика численности насекомых отражает изменения в популяции насекомых, при этом взаимоотношения растения – насекомое-филлофаг не учитываются. Непарный шелкопряд в период значительного подъема численности или вспышки массового размножения способен повреждать лесные насаждения большой площади. Поэтому необходимо комплексно изучать как вспышки массового размножения насекомых, так и дефолиацию лесных экосистем. Основной целью исследования было выявить пространственно-временную сопряженность очагов массового размножения непарного шелкопряда по дефолиации лесов различных районов Новосибирской области. Для оценки были выбраны данные по учетам площадей дефолиации лесов (га) в различных районах Новосибирской области за период с 1992 по 2016 г.: Венгеровском, Татарском, Барабинском, Здвинском, Куйбышевском, Доволенском, Кыштовском, Ордынском, Краснозерском, Купинском и Карасукском. Оценка состояния древостоя после повреждения насекомыми-филлофагами проводилась сотрудниками лесничеств Новосибирской области – осуществлялся рекогносцировочный надзор. Для анализа пространственно-временной сопряженности поврежденных участков леса различных районов рассчитывалась кросс-корреляционная функция [1, 2]. Попарно проанализировав временные ряды всех районов методом кросс-корреляционного анализа, удалось выявить синхронность, асинхронность, а также когерентность или синхронность со сдвигом. Временные ряды площадей дефолиации оказались синхронными в 16 парах районов, асинхронными – в 15, остальные районы были

когерентны со сдвигом от 1 до 3 лет. На рис. 1 приведены графики кросс-корреляционной функции нескольких пар районов: Венгеровский – Куйбышевский, Куйбышевский – Ордынский, Купинский – Карасукский, Венгеровский – Кыштовский, Барабинский – Доволенский, Здвинский – Купинский районы.

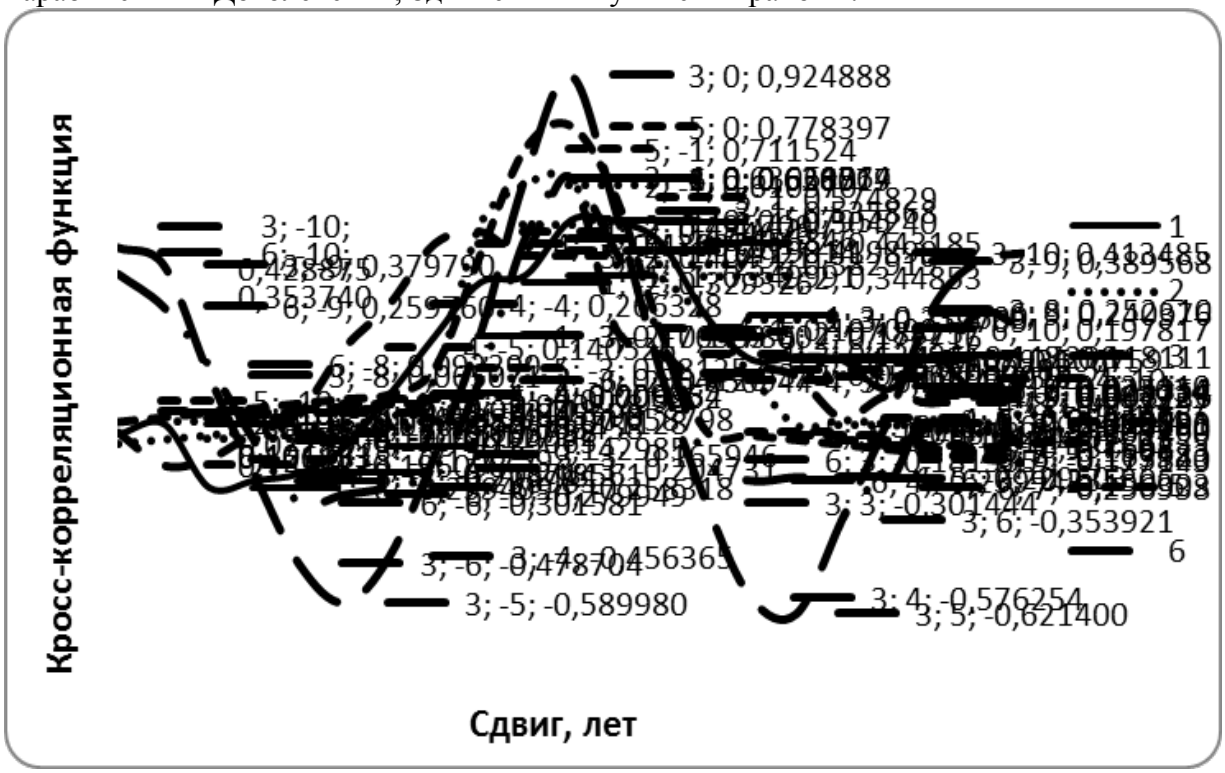


Рис. 1. Кросс-корреляционная функция между районами Новосибирской области (1 – Венгеровский – Куйбышевский, 2 – Куйбышевский – Ордынский, 3 – Купинский – Карасукский, 4 – Венгеровский – Кыштовский, 5 – Барабинский – Доволенский, 6 – Здвинский – Купинский районы)

Из графика видно, что пики функции пересекают ось ординат в нулевом значении: это свидетельствует о том, что сдвига нет, а временные ряды синхронны. Венгеровский и Куйбышевский районы имеют общую границу, здесь повреждения лесов наблюдались в один и тот же год, поэтому можно сделать вывод, что в Венгеровском и Куйбышевском районах Новосибирской области вспышка массового размножения непарного шелкопряда возникала одновременно и являлась одним большим очагом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анализ* временных рядов. Прогноз и правление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. М.: Изд-во Мир, 1974. Вып. 1. 406 с.
2. *Многомерный* статистический анализ и временные ряды / М. Дж. Кендалл, А. Стьюарт. М.: Изд-во Наука, 1976. 736 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Выражаем благодарность сотруднику Института систематики и экологии животных СО РАН Новосибирска В.В. Мартемьянову за предоставленные материалы по площадям дефолиации лесов Новосибирской области.

УДК 911.5/.9

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ И ЦЕЛОСТНОСТИ В ЛЕСНОМ ПОКРОВЕ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИНВАРИАНТ

А.Н. КРЕНКЕ, М.Ю. ПУЗАЧЕНКО

Институт географии РАН, Москва, Россия (krenke-igras@yandex.ru)

Предлагаемая работа посвящена проблеме поиска целостности и границ в лесных экосистемах через средства дистанционной информации. Предлагается подход, в котором выделяются инвариантные характеристики ландшафта и на основе их изменчивости осуществляется поиск переходных зон.

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL GROUNDS OF THE DETERMINATION OF BORDERS AND CONTINUETY IN THE FOREST COVER ON THE BASIS OF SPATIAL INVARIANTS.

A.N. KRENKE, M.Yu. PUZACHENKO

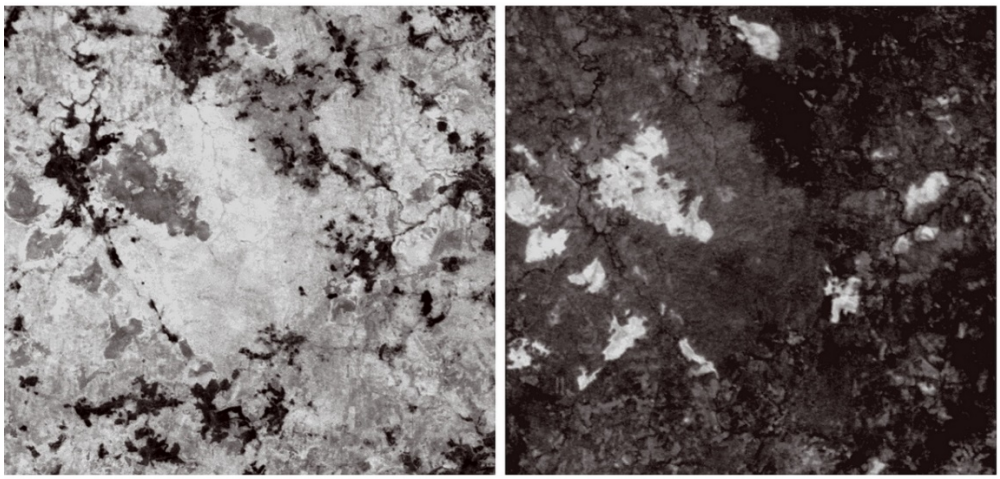
Institute of geography RAS, Moscow, Russia (krenke-igras@yandex.ru)

The proposed work is devoted to the problem of searching for integrity and borders in forest ecosystems through remote sensing data. An approach is proposed in which the invariant characteristics of the landscape are determined and on the basis of their variability a search for transition zones is carried out.

Проблема реальности границ является предметом дискуссии на протяжении двухсот лет с начала формирования географии как науки. Практическое значение данной проблемы трудно переоценить: на основе представления о границах производится любая форма сегментации растительного покрова, будь то геоботаническая специальная карта или материалы инвентаризации лесов. В настоящее время основным инструментом пространственной оценки состояния лесного покрова (и, следовательно, его типизации) являются данные дистанционного зондирования. Однако сегментация индивидуальных снимков не дает однозначного разделения типов леса, более того, сама «интенсивность» разделения, как правило, выводится за скобки. В предлагаемом сообщении эта проблема рассматривается с самых общих позиций – представления экологического пространства как набора инвариантных факторов, полученных на основе наблюдаемых отражений в различных спектральных диапазонах (при этом система может рассматриваться как термодинамическая [3, 5]), и метрического поиска пространственной изменчивости для отображений этих факторов с различной частотой [4]. Проблема рассматривается на примере территории Центрального лесного биосферного заповедника.

В рамках предлагаемого подхода решается несколько связанных задач, требующих применения различных методов. Первая основная задача выделения параметров порядка осуществляется методом главных компонент, примененных к набору из 20 сцен Landsat, который позволяет выделить ортогональные, взаимонезависимые виртуальные факторы или главные компоненты [2]. При предлагаемом подходе параметры порядка отражают стационарное, неизменное во времени состояние системы и, следовательно, тождественны инвариантам для рассматриваемого временного интервала. Число компонентов определяется методом падающей осыпи по спектру нагрузок на факторы. Дополнительно опираясь на связь компонент с точками описания лесной растительности, можно выделить три основные компоненты. Эти компоненты отражают «летний», «зимний» и «весенний» режимы функционирования системы. Данное трехмерное пространство описывает более 70 %

всего варьирования спутниковых данных относительно лесной растительности. На рис. 1 представлены отображения первых двух компонент. Значения компонент безразмерны и отражают степень их выраженности с соответствующим знаком.



	Февраль	Август
0	-17.1	15.5
1	-16.9	20.4
2	-16.6	20.9
3	-16.4	21.3
4	-16.1	21.6
5	-15.9	22.0
6	-15.7	22.4
7	-15.6	23.0
8	-15.4	23.7
9	-15.2	24.1
10	-15.1	24.6
11	-14.9	25.1
12	-14.8	25.6
13	-14.6	26.1
14	-14.5	26.6
15	-14.3	27.1

Рис. 1. Пространственное варьирование двух первых инвариант, приведенных к температуре самого холодного и самого теплого сроков измерения: зима (1), лето (2)

Исследование границ в данном пространстве теоретически должно отражать функциональные изменения в функционировании лесных экосистем с точки зрения термодинамики. Граница определялась как максимум из четырех направлений, по которым оценивалась метрика Эвклида: с севера на юг, с северо-запада на юго-восток, с запада на восток, с юго-запада на северо-восток. Вычисление границ производилось для различных частот отображения компонент (выделялись отдельные частоты спектра компонент), что согласно теореме отсчетов Котельникова должно дать объекты различной иерархии [1]. Очевидно, что на низкой частоте разнообразие границ существенно меньше, чем на высокой. Многие границы весьма фрагментарны. На высокой частоте в лесах выделяются часто замкнутые границы разной контрастности.

На рис. 2 представлен фрагмент рассматриваемой территории и трансект, пересекающий верховые болота, еловые леса и ветровалы. Сравнение дистанций в этих трех частотах демонстрирует зависимость отображения резких границ от пространственной частоты отображения.

Граница между еловым лесом и ветровалами хорошо выделяется на низких частотах и частично сохраняется на высокой частоте. На высокой частоте в пределах как елового леса, так и ветровала появляются собственные резкие границы. Таким образом, используя инварианты, полученные в мультиспектральных отображениях, и рассматривая их на различных частотах, получаем возможность исследовать внутреннюю структуру транзитных зон. На рис. 3 приведены высокочастотные и низкочастотные границы рассматриваемой территории.

Используемый метод анализа может применяться ко временным сериям любых переменных мультиспектральных измерений и их различным преобразованиям. Поскольку каждая переменная имеет физический смысл, то ее представление через инварианты будет отражать стационарное состояние. Инварианты и полученные на их основании границы могут быть хорошей основой для планирования соответствующих высокочастотных измерений. Достаточно очевидны возможности их применения для решения прикладных задач в сельском и лесном хозяйстве и в целом в оценке различных экосистемных услуг. Таким образом, инварианты позволяют выделить наиболее устойчивые свойства ландшафта на заданной пространственной частоте.

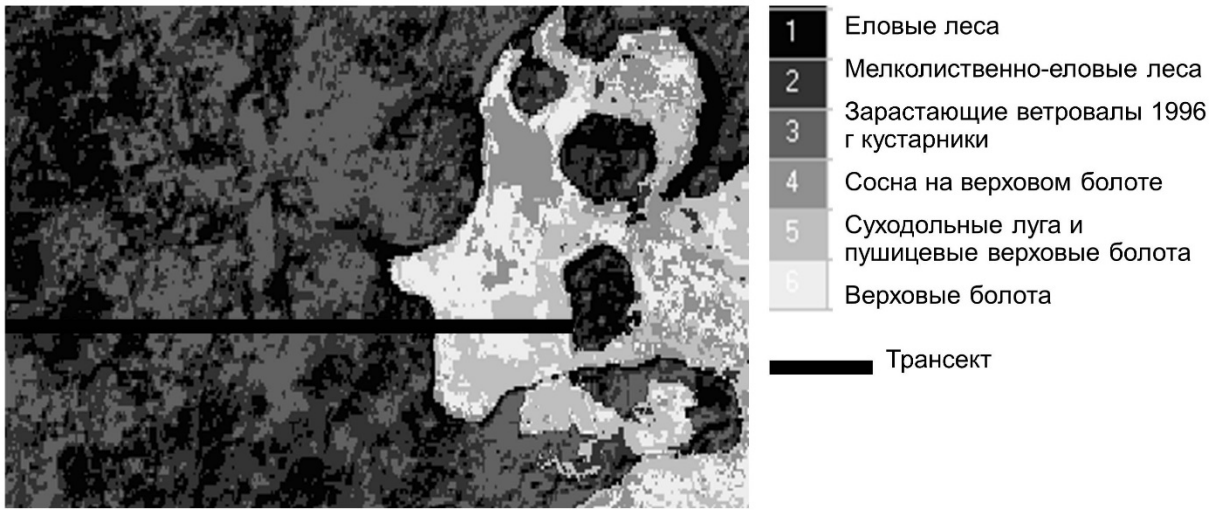


Рис. 2. Схема состояния растительности на демонстрационном участке

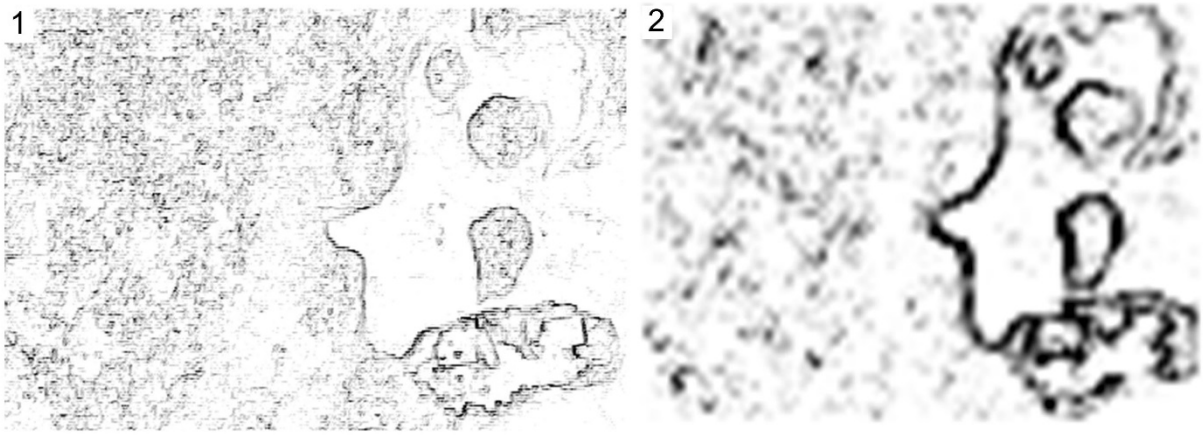


Рис. 3. Выделенные границы для двух частот: 1 – 3,3 колебания на 100 м, 2 – 1,1 колебания на 100 м

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пузаченко Ю.Г., Скулкин В.С.* Топологические основания выделения систем в географических науках // Системные исследования природы. Вопросы географии. М.: Мысль, 1977. С. 37–54.
2. *Пузаченко Ю.Г.* Инварианты динамической геосистемы // Известия РАН. Серия географическая. № 5. 2010. С. 6–16.
3. *Пузаченко Ю. Г., Сандлерский Р. Б., Кренке А. Н., Пузаченко М. Ю.* Мультиспектральная дистанционная информация в исследовании лесов // Лесоведение. 2014. № 5. С. 13–29.

УДК 630*453+582.475

ОРГАНИЗАЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ В ЗОНЕ ИНВАЗИИ УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. КРИВЕЦ, Э.М. БИСИРОВА, Н.М. ДЕБКОВ, И.А. КЕРЧЕВ

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия (krivec_sa@mail.ru)

Описаны принципы организации и приведены результаты многолетнего экосистемного и лесопатологического мониторинга состояния пихтовых лесов Томской области, поврежденных опасным чужеродным видом – уссурийским полиграфом.

ORGANIZATION AND RESULTS OF MONITORING THE STATE OF SIBERIAN FIR IN THE AREA OF INVASION OF FOUR-EYED FIR BARK BEETLE IN TOMSK OBLAST

S.A. KRIVETS, E.M. BISIROVA, N.M. DEBKOV, I.A. KERCHEV

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia (krivec_sa@ mail.ru)

The principles of organization and the results of a long-term ecosystem and forest pathological monitoring of the fir forests state in the Tomsk Oblast damaged by a dangerous alien species four eyed bark beetle *Polygraphus proximus* Blandf. is described.

Инвазионный короед уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* Blandf. в настоящее время является одним из наиболее значимых и массовых видов стволовых вредителей пихты сибирской в Томской области, о чем свидетельствуют высокий уровень и темпы деградации пихтовых древостоев [1]. Это потребовало разработки и внедрения системы мониторинга состояния лесов с учетом биологических и экологических особенностей инвайдера и его взаимоотношений с новой кормовой породой – как с целью выявления тенденций лесообразовательного процесса, обусловленных инвазией, так и для оптимизации защиты пихты от агрессивного вредного организма.

В течение 2012–2018 гг. сотрудниками ИМКЭС СО РАН на территории лесного фонда в 10 районах Томской области организованы 46 пунктов наземного мониторинга в темнохвойных экосистемах – реципиентах инвазии уссурийского полиграфа, отличающихся типологическими особенностями лесов, породным составом, возрастной и онтогенетической структурой древостоев, численностью, морфологической структурой и возрастом пихтового подроста. На особо охраняемых природных территориях насаждения оцениваются по состоянию расширенного комплекса компонентов (древостоя, естественного возобновления, подлеска, живого напочвенного покрова, почвы, животного населения, в том числе популяции *P. proximus*), в эксплуатационных лесах – по состоянию древостоя, подроста и популяций инвайдера.

Пункты мониторинга (пробные площади) включают не менее 100 деревьев пихты основного полога леса. При перечете деревьев используется инструментальная таксация, обеспечивающая высокую точность данных о размерных и возрастных характеристиках деревьев и древостоя в целом. Оценка жизненного состояния деревьев проводится в ходе глазомерной таксации с использованием шкалы категорий состояния, учитывающей реакцию пихты сибирской на нападение чужеродного стволового вредителя. Интегральная оценка древостоя включает определение индекса жизненного состояния, показателя поврежденности, средневзвешенной категории состояния, виталитетной структуры и степени деградации [6].

В ходе создания пространственно распределенной системы мониторинга обнаружена значительная исходная изменчивость этих показателей, обусловленная местоположением насаждения, типом леса, долей пихты в составе древостоя, его возрастной структурой, локальным проявлением различных факторов ослабления. Выявлена выраженная в разной степени деградация древостоев. На 20 пунктах мониторинга установлена сильная и полная деградация пихтового элемента леса (средневзвешенная категория состояния 3,6–4,5 и 4,6–6 баллов соответственно). Минимальное значение общего отпада пихты на момент проведения обследования здесь составляло 53,6, максимальное – 100 %, следы деятельности уссурийского полиграфа встречались на 78,6–100 % погибших деревьев. Средняя степень ослабления пихтовых древостоев (средневзвешенная категория состояния 2,6–3,5 балла) отмечена на 10 пунктах мониторинга. Общий отпад составил в таких насаждениях 19,7–55,1 %, следы деятельности полиграфа обнаружены на 48,3–100 % погибших деревьев. Слабо деградированные древостои со средневзвешенной категорией состояния 1,6–2,5 балла выявлены на 15 пробных площадях, где гибель деревьев достигает 8–24,9 %, а следы развития *P. proximus* отмечены на 27,3–100 % деревьев общего отпада. В зависимости от стадии развития очага массового размножения доля текущего отпада из-за деятельности полиграфа (суммарно отмирающие деревья и свежий сухостой) на момент проведения обследования в разных пунктах мониторинга варьировала от 0,5 до 28,2 %.

Наибольшая деградация пихты в связи с инвазией уссурийского полиграфа отмечена на юге области в пределах южнотаежной и подтаежной подзон, менее нарушены леса в подзоне средней тайги, что, по-видимому, связано с более поздним проникновением инвайдера на эту территорию.

В ходе мониторинговых исследований выявлено нарастание интенсивности патологических процессов, связанных с инвайдером, из-за пандемической вспышки сибирского шелкопряда, начавшейся в 2016 г. и продолжающейся по настоящее время. На отдельных участках, где были зафиксированы комплексные очаги сибирского шелкопряда и уссурийского полиграфа, отмирание пихты достигало 57,3 % в год.

На основе данных ежегодного мониторинга в течение 6 лет (2012–2017 гг.) на модельных территориях (ООПТ) установлены закономерности динамики состояния пихтовых древостоев с учетом исходной степени ослабления, породного и возрастного состава, характеристик очагов размножения уссурийского полиграфа и особенностей погодных условий в период его развития. Выявлена отрицательная динамика в состоянии пихтарников, обусловленная деятельностью инвайдера и заключающаяся в повсеместном уменьшении доли здоровых особей пихты, увеличении доли ослабленных, сильно ослабленных деревьев, а также в активном накоплении мортмассы в виде сухостоя, валежа и пней. Темпы деградации различались по годам, наиболее высокие их значения были приурочены к 2012–2014 гг., после лет с жаркой и сухой погодой, вызвавшей ослабление пихты и повышение численности полиграфа [2].

Выявлены особенности влияния уссурийского полиграфа на размерно-возрастную и онтогенетическую структуру древостоев. Воздействие инвайдера в начале развития очага приводит в основном к гибели деревьев второго яруса и тонкомера верхнего полога, что снижает пополнение новыми деревьями и в целом участие пихты в составе насаждений. Часть средних таксационных показателей (высота, возраст, диаметр) увеличивается, в то время как продуктивность, сомкнутость крон и густота древостоя снижаются [3]. Наименее подвержены катастрофическому воздействию уссурийского полиграфа насаждения с левосторонней онтогенетической структурой, а пихтарники с правосторонней структурой являются наименее устойчивыми и достаточно быстро деградируют. Отмечена высокая резистентность пихтовых лесов с постгенеративным

типом и в целом сообществ с долевым участием деревьев постгенеративного онтогенетического состояния более 30–40 % [4].

Исследование состояния подроста показало, что как ослабленные в той или иной степени, так и полностью деградированные пихтовые насаждения в Томской области в настоящее время имеют природный потенциал возобновления, достаточный для последующей регенерации (обновления) насаждений естественным путем без смены пород, представленный в основном мелким и средним подростом пихты. При этом на большинстве объектов мониторинга была зафиксирована гибель крупного подроста (от 11 до 50 %) в результате нападения уссурийского полиграфа. Это кардинально меняет понимание ситуации и позволяет по-новому взглянуть на трансформационную роль уссурийского полиграфа по отношению к пихте сибирской – при превалировании в высотно-возрастной структуре возобновления крупного подроста следует ожидать значимой гибели этой категории и увеличения периода формирования нового поколения древостоя за счет среднего и мелкого подроста [5].

Внедрение системы мониторинга позволило оценить специфику современной восстановительно-возрастной динамики таежных лесов, обусловленной инвазией уссурийского полиграфа. Эта специфика заключается: 1 – в усилении однородности строения пихтового элемента древостоев, что является одним из важнейших долговременных последствий для темнохвойных лесов; 2 – в разной устойчивости к повреждению насаждений разной онтогенетической структуры; 3 – в искусственном омоложении подроста в периоды массового размножения инвайдера; 4 – в разном проявлении сукцессионной динамики в лесах разного типа (в пихтарниках мелкотравно-зеленомошных продолжается доминирование пихты в составе сообщества с сокращением ее обилия; в пихтарниках папоротниковых наблюдается кратковременная смена пихты на березу). В совокупности эти тенденции составляют новый тип энтомогенной сукцессии с перспективами существенных изменений лесообразовательного процесса, выражающихся в задержке наступления следующей фазы развития леса, в снижении лесообразующей роли пихты и трансформации общей структуры лесного покрова территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бисирова Э.М.* Деградация пихтовых древостоев в зоне инвазии уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Bland. на территории Томской области. X Чтения памяти О.А. Катаева. Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах. Матер. междунар. конф., Санкт-Петербург, 22–25 октября 2018 г. / под ред. Д.Л. Мусолина и А.В. Селиховкина. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. 1. С. 12–13.
2. *Бисирова Э.М., Кривец С.А.* Динамика состояния древостоев пихты сибирской, поврежденных уссурийским полиграфом *Polygraphus proximus* Blandf. в Томской области // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. 44. С. 118–140.
3. *Дебков Н.М.* Закономерности изменения структуры пихтовых лесов, поврежденных в результате инвазии уссурийского полиграфа // Лесотехнический журнал. 2018. 1 (29). С. 13–22.
4. *Дебков Н.М.* Особенности влияния уссурийского полиграфа на онтогенетическую структуру пихтовых лесов Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. 5. С. 116–125.
5. *Дебков Н.М.* Природный потенциал возобновления в пихтовых лесах, поврежденных в ходе инвазии уссурийского полиграфа // Лесотехнический журнал. 2017. 1 (25). С. 58–68.
6. *Технология* мониторинга пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа в Сибири / С.А. Кривец, Э.М. Бисирова, Н.М. Дебков и др. Томск: УМИУМ, 2018. 74 с.

УДК 581.93(571.512-25)

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И АКТИВНОСТЬ ЭПИГЕЙНЫХ БРИОФИТОВ В РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ПОДЗОНЫ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ СРЕДНЕЙ СИБИРИ (СРЕДНЕЕ ТЕЧЕНИЕ Р. НИЖНЯЯ ТУНГУСКА)

Л.В. КРИВОБОКОВ[1], Д.Я. ТУБАНОВА[2], А.А. ЗВЕРЕВ[3], О.В. СЕРГЕЕВА[1], Л.В. МУХОРТОВА[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (leo_kr@mail.ru)
[2] Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия (tdolgor@mail.ru)
[3] Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия (ibiss@rambler.ru)

Изучены состав и активность таксонов эпигейных бриофитов в растительных сообществах подзоны северной тайги Средней Сибири. Показано, что взвешенные (количественные) таксономические спектры отражают реальную роль таксонов в структуре фитоценозов, а также что взвешенные таксономические спектры отличаются от невзвешенных (бинарных).

TAXONOMICAL STRUCTURE AND ACTIVITY OF EPIGEIC BRYOPHYTES IN PLANT COVER OF NORTHERN BOREAL SUBZONE OF MIDDLE SIBERIA (MIDDLE COURSE OF NIZHNYAYA TUNGUSKA RIVER)

L.V. KRIVOBOKOV[1], D.Ya. TUBANOVA[2], A.A. ZVEREV[3], O.V. SERGEEVA[1], L.V. MUKHORTOVA[1]

[1] Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (leo_kr@mail.ru)
[2] Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia (tdolgor@mail.ru)
[3] Tomsk State University, Tomsk, Russia (ibiss@rambler.ru)

Composition and activity of epigeic bryophyte taxa in plant communities of northern boreal subzone of Middle Siberia Region were studied. It was shown that weighted (quantitative) taxonomical spectra reflect real role of taxa in phytocenoses structure, also weighted taxonomical spectra differ from unweighted (binary).

Мхи играют одну из ключевых ролей в функционировании бореальных экосистем, по крайней мере, формируя значительную часть органической массы биогеоценозов и контролируя почвенный микроклимат. Целью настоящего исследования было показать, что таксономические невзвешенные (бинарные) спектры не отражают реальной роли конкретных таксонов бриофитов в ландшафте, которую можно показать через активность этих таксонов при помощи взвешенных, или количественных, таксономических спектров.

Район исследований расположен на Среднесибирском плоскогорье (64° с. ш., 100° в. д.) в среднем течении реки Нижняя Тунгуска. Рельеф исследуемой территории низкогорный, 110–650 м н. у. м. В геологическом строении преобладают траппы, территория исследований находится в границах сплошной криолитозоны. Климат континентальный, умеренно влажный. Среднегодовая температура воздуха -8,9 °С, среднегодовая сумма осадков составляет около 370 мм, высота снежного покрова 50–60 см [5].

Растительность представлена четырьмя основными типами. По площади и в большинстве форм рельефа абсолютно преобладают северотаежные светлохвойные кустарничково-зеленомошные леса из *Larix dahurica* Turcz. ex Trautv., в том числе заболоченные, кроме того, на вершинах увалов распространены криволесья с доминированием *Betula tortuosa* Ledeb. и постоянным участием лиственницы в древостое. В поймах рек распространены луга, а также заросли кустарников с доминированием ив и *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar. Небольшими участками встречаются петрофитные фитоценозы на скальных выходах и каменистых россыпях. Редко и малыми площадями встречаются фитоценозы травяных и сфагновых болот.

Концептуальным в данной работе является метод конкретных флор [6]. Нами обследована площадь около 150 км^2, выполнены 146 полных геоботанических описаний, в которых в том числе отмечался полный флористический состав и проективное покрытие каждого вида мха (в процентах от площади описания). Всего зафиксирован 81 вид эпигейных мхов, относящихся к 43 родам и 29 семействам. Обработка данных, а также таксономическая коррекция списка видов проведены с использованием программы IBIS [3]. При создании сводного описания для каждого таксона, кроме встречаемости, рассчитывалась сумма его проективных покрытий в единичных описаниях, что послужило основой для вычисления активности таксонов в конкретной флоре. Обоснование понятия и метод подсчета активности приводится в работе Л.И. Малышева [4].

Семейственно-видовой невзвешенный спектр локальной эпигейной бриофлоры Тура (табл. 1) в целом сходен с таковым для бореальных локальных и региональных флор Сибири с преобладанием видов *Sphagnaceae* и *Dicranaceae* [1, 2]. Взвешенный спектр показывает другую картину, объяснить которую помогают данные по родо-видовому взвешенному спектру (табл. 2). Здесь абсолютно преобладает *Hylocomiaceae* за счет повсеместного доминирования в лесах *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. и *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch., второе место занимает *Aulacomniaceae* за счет активности в основном *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Shwagr. во влажных и заболоченных лиственничниках, а многовидовые *Dicranaceae* и *Sphagnaceae* отодвигаются на 3–4 места вследствие небольшого обилия в конкретных фитоценозах либо редкой встречаемости самих фитоценозов (болот). Семейства *Amblystegiaceae, Polytrichaceae, Pylaisiaceae* занимают средние части спектров как по числу видов, так и по их активности. Также обращает на себя внимание появление в нижней части взвешенного спектра *Rhytidiaceae* и *Ptilidiaceae* за счет как доминирования в локальных условиях (*Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb. в лесах на крутых южных склонах), так и повсеместной встречаемости с небольшим обилием (*Ptilidium ciliare* (L.) Hampe) с единственными видами.

Таблица 1. Семейственно-видовые спектры локальной эпигейной бриофлоры Тура

№	Семейство	∑ видов	%	№	Семейство	∑ акт-ти	%
1	*Sphagnaceae*	13	16,05	1	*Hylocomiaceae*	64	32,49
2	*Dicranaceae*	10	12,35	2	*Aulacomniaceae*	18	9,14
3	*Amblystegiaceae*	7	8,64	3	*Dicranaceae*	17	8,63
4	*Calliergonaceae*	5	6,17	4	*Sphagnaceae*	14	7,11
5	*Grimmiaceae*	5	6,17	5	*Polytrichaceae*	11	5,58
6	*Polytrichaceae*	5	6,17	6	*Amblystegiaceae*	10	5,08
7	*Pylaisiaceae*	4	4,94	7	*Rhytidiaceae*	9	4,57
8	*Ditrichaceae*	3	3,7	8	*Pylaisiaceae*	8	4,06
9	*Mielichhoferiaceae*	3	3,7	9	*Ptilidiaceae*	7	3,55
10	*Hylocomiaceae*	3	3,7	10	*Calliergonaceae*	6	3,05

Родо-видовые спектры подтверждают и детализируют семейственно-видовые (табл. 2). Невзвешенный родо-видовой спектр локальной бриофлоры Тура также типичен для бореальных флор [1, 2]. Взвешенный родо-видовой спектр показывает реальное участие конкретных родов мхов в сложении фитоценозов, причем «вес» рода может как характеризоваться доминированием или субдоминированием одного вида в напочвенном покрове (*Pleurozium, Hylocomium, Aulacomnium, Rhytidium*), так и складываться из участия в сложении покрова многих видов рода (*Dicranum, Sphagnum, Polytrichum*).

Таблица 2. Родо-видовые спектры локальной эпигейной бриофлоры Тура

№	Род	∑ видов	%	№	Род	∑ акт-ти	%
1	*Sphagnum*	13	16,05	1	*Pleurozium*	37	18,78
2	*Dicranum*	10	12,35	2	*Hylocomium*	26	13,2
3	*Polytrichum*	5	6,17	3	*Aulacomnium*	18	9,14
4	*Calliergon*	4	4,94	4	*Dicranum*	17	8,63
5	*Pohlia*	3	3,7	5	*Sphagnum*	14	7,11
6	*Stereodon*	2	2,47	6	*Polytrichum*	11	5,58
7	*Grimmia*	2	2,47	7	*Rhytidium*	9	4,57
8	*Aulacomnium*	2	2,47	8	*Ptilidium*	7	3,55
9	*Schistidium*	2	2,47	9	*Calliergon*	5	2,54
10	*Tomentypnum*	2	2,47	10	*Tomentypnum*	4	2,03
11	*Bryum*	2	2,47	11	*Pohlia*	4	2,03
12	*Drepanocladus*	2	2,47	12	*Ptilium*	4	2,03

ЛИТЕРАТУРА

1. *Афонина О.М.* Бриофлора Чукотки: автореф. дисс. ... докт. биол. наук: 03.00.05. СПб.: БИН РАН, 2000. 46 с.
2. *Бардунов Л.В.* Очерк бриофлоры Сибири. Новосибирск: Наука, 1992. 96 с.
3. *Зверев А.А.* Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
4. *Малышев Л.И.* Флористическое районирование на основе количественных признаков // Бот. журн. 1973. 58 (11). С. 1581–1588.
5. Средняя Сибирь М.: Наука, 1964. 480 с.
6. *Толмачев А.И.* Богатство флор как объект сравнительного изучения // Вестник ЛГУ. 1970. 9. С. 71–83.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены при поддержке РФФИ (№ 18-04-01068-а), а также частично в рамках фундаментальных научных исследований по программам РАН № 0337-2017-0006 № гос. регистрации (ЦИТИС) АААА-А17-117011810036-3, а кроме того, частично в рамках фундаментальных научных исследований по программам РАН № 0356-2019-0024, номер госрегистрации (ЦИТИС) № АААА-А17-117101820003-0 «Биоразнообразие коренных хвойных и производных лесных экосистем» и № 0356-2019-0009, номер госрегистрации (ЦИТИС) № АААА-А17-117101940016-3 «Динамика лесов Сибири в меняющемся климате: мониторинг жизненного состояния, продуктивности и ареалов основных лесообразующих видов древесных растений».

УДК 630.228.7

ОЦЕНКА РОСТА И СЕМЕНОШЕНИЯ КЛОНОВ КЕДРОВЫХ СОСЕН В КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Г.В. КУЗНЕЦОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (galva@ksc.krasn.ru)

Проведено изучение роста и семеношения разных клонов кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) и кедра европейского (*Pinus cembra* L.) в условиях Красноярской лесостепи. Изучение искусственного выращивания кедровых сосен в новых условиях позволило оценить и выделить лучшие по росту и урожайности сорта-клоны.

THE GROWTH AND SEED ASSESSMENT OF CLONES CEMBRAE GROUP PINES IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

G.V. KUZNETSOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (galva@ksc.krasn.ru)

Results of the long-term research of the growth and seed production of various Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour) and European pine (*Pinus cembra* L.) clones under conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe are presented. The best of climatypes of Cembrae croup pines as clone varieties have been identified.

Селекция и сортовое семеноводство лесных древесных видов основаны на получении и массовом размножении высокопродуктивных улучшенных форм, устойчивых к факторам внешней среды. Наиболее эффективной формой лесного семеноводства является плантационный метод, позволяющий совмещать генетическое и селекционное улучшение древесных растений. Многообразие ценных признаков кедровых сосен предопределяет создание прививочных плантаций различного целевого назначения – для получения древесной и недревесной продукции. Наряду с созданием плантаций из клонов деревьев кедра сибирского местных популяций целесообразно закладывать и плантации, содержащие коллекции как особей вида из разных местопроизрастаний их ареала, так и деревьев близкородственных видов.

Объектами исследования были прививки сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) и сосны кедровой европейской (*Pinus cembra* L.) на сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.*)*. Прививки кедровых сосен созданы в 1963–1965 гг. в Красноярской лесостепи на территории экспериментального опытного хозяйства «Погорельский бор». Целью работы являлась оценка роста и семеношения разных клонов кедра сибирского и кедра европейского в их многолетней динамке в условиях Красноярской лесостепи.

Многолетние наблюдения за различными клонами, представленными на плантации прививок кедра, позволили выявить особенности их роста в условиях Красноярской лесостепи в зависимости от географического происхождения и отобрать наиболее перспективные клоны, выделяющиеся по высоте, а также по диаметру ствола и кроны. Такие клоны выявлены у равнинных и таежных популяций кедра сибирского из Красноярского края (Козульский, Маганский, Енисейский лесхозы), Тюменской области (Сургутский, Вагайский лесхозы), Новосибирской области (Кыштовский лесхоз) с высотами от 8,1 м до 10 м и диаметрами от 14,4 см до 17,8 см, а также у низкогорных происхождений из Красноярского края (Ермаковский лесхоз), Иркутской области (Черемховский лесхоз) с высотами 8,5–8,4 м и диаметрами 17,3–17,8 см. Хорошим ростом отличаются южные горные популяции Хакасии (Копьевский лесхоз), высота прививок – 9,2 м, диаметр – 22,1 см.

Все выделенные происхождения кедра отличаются от других климатипов и

шириной кроны: диаметр кроны у этих происхождений – от 0,7 до 1 м. Урожай кедра, в частности, прививок кедра, зависит прежде всего от развития и строения кроны. Для формирования кроны деревьев большое значение имеет число почек на географических прививках, развивающихся на осевом побеге. Наибольшее число ветвей в мутовке, от 9 до 12 штук, отмечено на привоях кедра из Саянской популяции, Бурятии (Закаменский) и среднегорного пояса Алтая (Восточно-Казахстанский, Верх-Катунский). Эти прививки за счет боковых побегов имеют более раскидистую форму кроны, характерную для материнских деревьев этих происхождений. Выделяются клоны тюменского и томского происхождения с постоянно хорошим приростом (многолетние средние значения соответственно 23 см и 33 см), в отдельные годы прирост у томских достигал 41,5 см, у тюменских – 47,3 см. Неплохой средний прирост был у прививок южносибирских: восточно-казахстанского (21 см), кемеровского (22 см) и местного (от 21 см до 24 см) происхождений. Хороший прирост саянских, томских и тюменских прививок связан с районами произрастания материнских деревьев – зоны оптимальной продуктивности кедра сибирского для равнинных условий.

Изучение репродуктивного процесса в многолетней динамике прививок кедра разного происхождения в Красноярской лесостепи позволило выявить «высокоурожайные» и «низкоурожайные» клоны кедра. Первые превосходят вторые по числу цветущих прививок одного клона и по среднему числу шишек на одну прививку [1]. Это превосходство хорошо заметно в урожайные годы, сохраняется в годы слабых урожаев и нивелируется, когда урожай шишек практически равен нулю. «Высокоурожайные» клоны в основном отмечаются у деревьев, черенки которых взяты в оптимальных условиях произрастания кедра сибирского, в южно- и среднетаежных популяциях Западной и Южной Сибири, Казахстана.

Среди исследуемых происхождений кедра сибирского на прививочной плантации отмечены клоны, имеющие деревья с ежегодным семеношением. Это отдельные деревья популяций Красноярского края (Козульский, Бирилюсский, Байкитский, Ермаковский лесхозы), а также особи происхождения Тюменской области (Сургутский лесхоз) и Восточно-Казахстанской области (Лениногорский лесхоз). В годы общей пониженной семенной продуктивности на деревьях этих происхождений имелись макростробилы.

Важным показателем семеношения является морфометрическая характеристика шишек. Проведены многолетние исследования шишек и семян у клонов разных происхождений. В результате исследований выявлено, что у 40-летних прививок кедровых сосен показатели размеров шишек были выше, чем у их материнских деревьев [2, 3]. Средняя длина шишек у клонов кедра сибирского была в пределах 45–84 мм, ширина – 40–60 мм. Женские шишки у прививок кедра европейского значительно больше по размеру: их средняя длина составляет 64,5 мм, ширина – 50 мм.

На прививочной плантации выделены особи кедра с тяжелыми семенами; это отдельные деревья происхождений Тюменской, Томской, Горно-Алтайской, Свердловской областей и Красноярского края и кедра европейского (Карпаты) (рис. 1). У этих происхождений масса 1000 шт. семян превышает 250 г, а у отдельных деревьев Красноярского края (Ермаковский район) достигает 300–400 г. Перечисленные клоны, а также прививки кедра европейского отличаются качественными полнозернистыми семенами и высокой их жизнеспособностью: 90 %.

Полученные нами многолетние данные о семеношении прививок кедровых сосен в Красноярской лесостепи показывают наличие на плантации клонов с высокой генеративной продуктивностью; семена этих клонов преобладают в общем урожае плантации. Формируемые женские шишки прививок кедра не уступают по размерам и качеству семян соответствующим материнским деревьям, образование же

доброкачественных семян является одним из критериев успешности интродукции вида [3]. При отборе на семенную продуктивность по совокупности признаков (выходу семян из шишек, массе 1000 шт. семян, полнозернистости, жизнеспособности семян и величине шишек) выделяются клоны кедра сибирского из Красноярского края (козульский, байкитский), Тюменской области (сургутский), Томской области (тимирязевский), Восточного Казахстана (лениногорский) и кедра европейского из Карпат (иваново-франковский). Данные клоны можно рекомендовать как сорта-клоны по продуктивности.

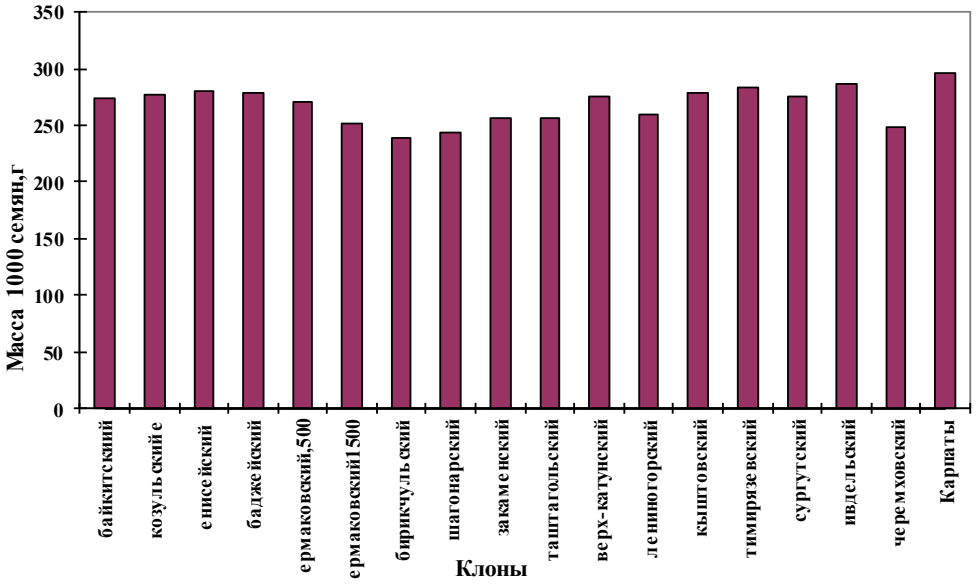


Рис. 1. Межклоновая изменчивость массы семян с прививок кедровых сосен в Красноярской лесостепи

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузнецова Г.В.* Семеношение и качество семян клонов кедра сибирского разного происхождения на плантации в Красноярской лесостепи //Лесоведение. 2003. № 6. С. 42–48.
2. *Кузнецова Г.В.* Опыт создания клоновой плантации кедровых сосен в Красноярской лесостепи // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24. № 2–3. С. 217–225.
3. *Кузнецова Г.В.* Прививки кедровых сосен в Красноярской лесостепи // Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения. Мат-лы Всерос. науч.-практич. конференции с междунар. участием. Красноярск, 19–23 сентября 2016 г. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2016. С. 122–123.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках базового проекта № 0356-2019-0024.

УДК: 502 (470.54)

МОНИТОРИНГ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И.А. КУЗНЕЦОВА, Н.С. МУХИНА

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия (kuznetsova@ipae.uran.ru, common@ipae.uran.ru)

В Свердловской области осуществляется комплексный экологический мониторинг состояния природной среды особо охраняемых территорий. В качестве биоиндикаторов исследованы растительные сообщества, дереворазрушающие грибы, представители наземных и водных беспозвоночных и птицы. Установлено, что при существующей степени рекреационной нагрузки нарушения локальны и в целом не влияют на состояние природных комплексов.

MONITORING OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES OF THE SVERDLOVSK REGION

I.A. KUZNETSOVA, N.S. MUKHINA

Russian Academy of Sciences. Ural Division Institute of Plant and Animal Ecology, Ekaterinburg, Russia (kuznetsova@ipae.uran.ru, common@ipae.uran.ru)

In the Sverdlovsk region, a comprehensive environmental monitoring of the natural environment state of specially protected areas has been carried out. Plant communities, wood-destroying fungi, representatives of terrestrial and aquatic invertebrates and birds have been studied as bioindicators. It has been established that with the current degree of recreational load, the disturbances are local and generally do not affect the state of the natural complexes/

В настоящее время перед всеми особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) особо актуализированы задачи экологического просвещения и воспитания граждан, решаемые, главным образом, в формате экологического познавательного туризма, и возникает необходимость особого внимания к организации на территории ООПТ контролируемого доступа населения к природным ресурсам и формированию развитой инфраструктуры. Однако при создании последней невозможно избежать в той или иной степени нанесения ущерба состоянию природных комплексов. Складывается ситуация, по сути своей предполагающая сочетание двух взаимоисключающих установок: с одной стороны, сохранение природы в ненарушенном состоянии, с другой – неизбежное воздействие на природные комплексы при развитии рекреации и познавательного туризма. В результате перед всеми ООПТ встает новая задача – достичь полноценного компромисса между охраной природы и созданием инфраструктуры рекреации и туризма. Задача сложная, однако, как показывает практика, разрешимая. И главное условие для ее разрешения – при развитии любого из двух направлений в равной мере уделять внимание и второму.

В Свердловской области на региональных особо охраняемых природных территориях (природные парки «Оленьи ручьи», «Река Чусовая», «Бажовские места», природно-минералогический заказник «Режевской») конфликт между природоохранной и экопросветительской деятельностью сведен к минимуму. Достигнуто это, прежде всего, созданием хорошо развитой и грамотно спланированной инфраструктуры, наглядной информацией о состоянии и деятельности ООПТ, строгим контролем за соблюдением правил поведения посетителей и туристов. Немаловажное значение имеет регулярный комплексный экологический мониторинг состояния природной среды. В ходе его выполнения оценивается актуальное состояние участков, используемых при рекреационной деятельности, и участков ненарушенных, биотопически сходных с ними. Сравнение результатов исследования позволяет своевременно обнаружить изменения в состоянии нарушенных комплексов, определить

степень и характер рекреационной нагрузки, разработать рекомендации по реабилитации территории и оптимизации дальнейшего развития туристической деятельности. Мониторинг состояния природных комплексов на региональных ООПТ Свердловской области выполняется сложившимся коллективом научных сотрудников Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук на централизованной договорной основе с правительством Свердловской области. Результаты ежегодно публикуются в форме монографий [1, 3, 4, 5, 6, 7].

Общий облик биоты Среднего Урала, и Свердловской области в частности, определяется сложным геоморфологическим строением горной территории, обусловливающим разнообразие абиотических факторов среды в вертикальном и горизонтальном направлении, что проявляется в структуре растительного покрова по отдельным высотным поясам и соответствующей дифференциации животного населения. На территории области преобладают горно-таежный, предгорно-таежный и долинно-таежный лесные комплексы; охраняемые территории регионального значения располагаются в двух последних.

Природные парки и природно-минералогический заказник с каждым годом завоевывают все большую популярность у населения Свердловской области и ее гостей. В 2018 году наибольшая нагрузка традиционно пришлась на природные парки «Оленьи ручьи», площадь которого составляет 12 тыс. га, – его посетило около 90 тысяч человек, и «Бажовские места» площадью 39 тыс. га – 43 тысячи посетителей. В предыдущий, 2017, год в этих ООПТ было зарегистрировано соответственно 80 тыс. и 41,3 тыс. посетителей. В этих ООПТ за годы их существования (в 2018 году им исполнилось 20 и 12 лет соответственно) созданы все условия для обеспечения сохранности природных комплексов: оборудованы пешеходные тропы, стоянки, смотровые площадки, кордоны, просветительские центры и пр. При этом продолжение контроля экологического состояния природной среды, актуальная оценка степени антропогенного воздействия и определение уровня допустимых нагрузок не только не теряют своей актуальности, позволяя оптимизировать нагрузку, распределяя ее по различным участкам территории, но и оказывают существенную помощь при планировании дальнейшего развития рекреационных участков.

Состояние биоты природных парков «Оленьи ручьи», «Река Чусовая», «Бажовские места», природно-минералогического заказника «Режевской» в настоящее время стабильное, деградации охраняемых комплексов в целом не отмечается. В местах активной рекреации последствия антропогенной нагрузки порой весьма значительны, но при этом локальны и не выходят за границы отведенных участков, не занимают значительных пространств. В наибольшей степени рекреация повлияла на растительные сообщества и сообщества дереворазрушающих грибов. Степень трансформации растительного покрова рекреационных зон оценивается от умеренной до очень сильной. На трансформированных участках отсутствуют виды, определяющие региональное своеобразие флоры (эндемики и субэндемики), наблюдается сдвиг в сторону видов открытых типов местообитаний, увеличивается доля сорных видов. Сокращается видовое богатство и разнообразие сообществ дереворазрушающих грибов, подавляется их генеративная и конкурентная активность по сравнению с микокомплексами ненарушенных лесов. Животные, как позвоночные, так и беспозвоночные, имея возможность «отойти в сторону», то есть сдвинуть свое пребывание в границах естественного ареала, менее подвержены антропогенному воздействию. Реки природных парков и заказника, несмотря на активное использование в качестве рекреационного и туристического объекта, в границах ООПТ не страдают от присутствия человека, и их состояние соответствует категории «чистые» и «очень чистые», о чем свидетельствуют количественные и качественные показатели

макрозообентоса. Отрадным является тот факт, что все нарушения, зарегистрированные в местах популярных туристических троп, стоянок и смотровых площадок, уже на расстоянии нескольких десятков метров не обнаруживаются, и природные комплексы на таком небольшом расстоянии от очага воздействия соответствуют категории «малонарушенные» или близки к таковым. Доказывает благополучие охраняемых территорий также и сохранение видов растений и животных, включенных в Красные книги Свердловской области и Российской Федерации.

В 2016–2018 гг. к программе мониторинга присоединился биосферный резерват, находящийся под эгидой ЮНЕСКО, – Висимский государственный природный биосферный заповедник. В 2018 году завершен начальный этап комплексной экологической оценки состояния природной среды создаваемого рекреационного участка охранной зоны заповедника: определены постоянные стационарные площадки, позволяющие проследить биоценотическое разнообразие контролируемой территории, на которых, прежде всего, выявлен видовой состав растительных сообществ. В настоящее время антропогенная трансформация растительных сообществ рекреационного участка, за исключением троп и туристических площадок, практически не превышает таковую для ненарушенных участков самого заповедника, что свидетельствует о высокой степени сохранности контролируемого природного комплекса в целом. Об этом же свидетельствует и присутствие видов растений, занесенных в Красную книгу Свердловской области, и незначительное присутствие адвентивных видов. Состояние гнезд рыжих лесных муравьев, второго контролируемого биоиндикатора, также говорит о благоприятных условиях среды, об отсутствии в настоящее время какого-либо угнетающего антропогенного воздействия на наземные экосистемы контролируемого участка.

Основные положения и принципы ведения комплексного экологического мониторинга разработаны непосредственно самими исполнителями работ и доработаны в 2008 году [2]. Контролируемыми объектами наблюдений являются растительные сообщества, водные беспозвоночные, рыжие лесные муравьи, дереворазрушающие грибы и птицы: состояние первых двух групп контролируется ежегодно, остальных – с относительно постоянным интервалом в 5–7 лет.

Особого внимания при оценке состояния природных комплексов охраняемых территорий заслуживает внедрение в растительные сообщества инвазивных видов. В настоящее время отмечены лишь единичные встречи таких видов, как яблоня ягодная и ирга колосистая. Однако, учитывая их способность к активному завоеванию пространства, можно ожидать дальнейшего увеличения доли их присутствия в растительных сообществах и даже вытеснения каких-то видов местной флоры. В таком случае следует своевременно применить сдерживающие меры, регулируя их агрессивное распространение.

Общий подход к оценке состояния природных комплексов ООПТ различных категорий, имеющих существенные различия в направлениях своей деятельности (приоритет охраны природы или приоритет развития рекреации и познавательного туризма), позволяет контролировать состояние природных комплексов рекреационно используемых участков, а также оценивать актуальное состояние природной среды всего региона в целом. Полученные результаты, свидетельствующие о локальности антропогенных преобразований при грамотном рекреационном использовании территории, могут быть использованы при разработке единого для федеральных и региональных ООПТ перечня туристической инфраструктуры, допускаемой для размещения в том числе и на заповедных территориях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Итоги* мониторинга состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области / Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 204 с.
2. *Комплексный* экологический мониторинг состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области / Екатеринбург: Уральский следопыт, 2008. 216 с.
3. *Мониторинг* состояния биоты особо охраняемых природных территорий Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. 170 с.
4. *Мониторинг* состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области: природные парки «Оленьи ручьи», «Река Чусовая», «Бажовские места», природно-минералогический заказник «Режевской» / Екатеринбург: УИПЦ, 2012. 162 с.
5. *Особо* охраняемые территории Свердловской области: мониторинг состояния природной среды / Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 187 с.
6. *Результаты* мониторинга состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области / Екатеринбург: УИПЦ, 2013. 280 с.
7. *Экологический* контроль особо охраняемых природных территорий Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 71 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках госзадания Института экологии растений и животных УрО РАН, при финансовой поддержке Министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области и Висимского государственного природного биосферного заповедника.

УДК 581.475.4; 581.135:582.475; 632.4

ОСОБЕННОСТИ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА И ДРЕВЕСИНЫ У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ С РАЗНОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ГРИБНЫМ ПАТОГЕНАМ

С.Р. КУЗЬМИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (skr_7@mail.ru)

Сосна обыкновенная разделена в географических культурах Красноярского края на устойчивые и неустойчивые к грибным патогенам климатипы, которые имеют различия между собой по комплексу характеристик ассимиляционного аппарата (морфология хвои, продолжительность жизни хвои, плотность устьиц, концентрация летучих веществ) и анатомии древесины (радиальный рост, размеры трахеид, доля поздней древесины).

ASSIMILATION APPARATUS AND WOOD FEATURES OF SCOTS PINE WITH DIFFERENT RESISTANCE TO FUNGAL PATHOGENES IN CONDITIONS OF PROVENANCE TRIAL

S.R. KUZMIN

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (skr_7@mail.ru)

Scots pine in condition of provenance trial was divided on resistant and nonresistant climatypes to fungal pathogens, with features in complex of assimilation apparatus characteristics (needle morphology, needle life duration, needle density, volatile compounds concentration) and in wood anatomy (radial growth, tracheid's characteristics, latewood proportion).

В географических культурах сосны обыкновенной, созданных в 1976–1977 гг. в Богучанском лесничестве Красноярского края, были выделены устойчивые и неустойчивые климатипы на основе учета повреждения хвои в кроне деревьев в результате эпифитотий, вызванных грибными заболеваниями (снежное шютте и ценангиевый некроз). Впоследствии, будучи в здоровом состоянии, деревья климатипов, отнесенные к разным по устойчивости группам, были исследованы по комплексу таких показателей ассимиляционного аппарата, как длина и ширина хвои, плотность устьиц, продолжительность жизни хвои, соотношение концентраций летучих веществ в хвое. Исследования проводились и по комплексу различных характеристик древесины: ширине годичных колец, толщине клеточных стенок трахеид, радиальным размерам трахеид, площади клеточных стенок и просвета трахеид, соотношению доли ранней и поздней древесины.

Цель работы – анализ особенностей морфологических и биохимических показателей хвои, анатомии древесины у климатипов, имеющих разную устойчивость к грибным патогенам.

Неустойчивые к патогенам климатипы, представляющие по происхождению в основном лесостепные и подтаежные зоны с юга ареала сосны (чемальский, минусинский, балгазынский и кяхтинский), имеют длинную хвою (52–65 мм), живущую в среднем 3,1–3,2 года. Параметры этих показателей у деревьев устойчивых климатипов, представляющих в основном северную, среднюю и южную тайгу (печенгский, кандалакшский, енисейский и богучанский), составляют соответственно 33–50 мм и 3,8–4,3 года. Различия между группами климатипов достоверные ($p<0,001$). Существенные различия между климатипами отмечаются по плотности устьиц хвои. У более устойчивых к грибным болезням климатипов сосны плотность устьиц колеблется от 60 до 81 шт. мм$^{-2}$, в среднем составляя 69 шт. мм$^{-2}$. Неустойчивые к грибным болезням климатипы имеют плотность устьиц в пределах 79–85 шт. мм$^{-2}$ при среднем значении, равном 82 шт. мм$^{-2}$, что на 19 % выше, чем у устойчивых.

Таким образом, устойчивые к грибным болезням потомства климатипов сосны имеют короткую хвою с меньшей плотностью устьиц и большей продолжительностью жизни. Данные особенности хвои выявлены у деревьев сосны из северных регионов: печенгского, кандалакшского, енисейского и контрольного богучанского климатипов, в меньшей степени подверженных грибным заболеваниям по сравнению с климатипами из западных и южных районов ареала вида.

Установлено, что по ряду летучих веществ группа устойчивых к грибным патогенам климатипов достоверно отличается от неустойчивых. По α-пинену устойчивые климатипы имеют достоверно ($p<0,01$) более высокую концентрацию по сравнению с неустойчивыми. По остальным терпенам концентрация веществ отмечается значительно выше у неустойчивых климатипов. К этим летучим веществам относятся: Δ^3-карен, α-терпинен, сабинен, терпинолен, α-фелландрен, τ-терпинен, борнеол. Выделяются самые устойчивые – северные климатипы (кандалакшский и печенгский), имеющие большую встречаемость фитола. У печенгского климатипа из лесотундры имеется вещество, характерное только для него, – β-фарнезен.

Группа устойчивых к грибным патогенам климатипов сосны отличается большей относительной концентрацией α-пинена по сравнению с Δ^3-кареном, их соотношение в среднем для группы составляет 11:1. Относительная концентрация Δ^3-карена у группы неустойчивых климатипов увеличивается – в среднем на 177 %, а α-пинена – снижается на 30 %. Соотношение относительных средних концентраций α-пинена и Δ^3-карена у группы неустойчивых климатипов составляет 3:1. Отмечаемая меньшая доля Δ^3-карена и большая α-пинена у северных происхождений по сравнению с южными подтверждается исследованиями летучих веществ в хвое и древесине при сравнении северных и южных происхождений в географических культурах сосны обыкновенной в Финляндии [3].

Исследование концентрации летучих веществ в зависимости от заболевания показало, что чем сильнее была степень повреждения растений снежным шютте и ценангиевым некрозом, тем больше у них отмечаются относительные концентрации Δ^3-карена, τ-терпинена, сабинена, α-терпинена, терпинолена, α-феландрена, борнеола, камфена, трициклена, β-мирцена и других соединений. Например, коэффициент корреляции относительной концентрации Δ^3-карена и доли деревьев у климатипов, поврежденных с различной степенью тяжести снежным шютте, равен 0,90 ($p<0,001$).

Исследование радиального роста климатипов сосны в условиях песчаной почвы выявило, что период зафиксированного заболевания ценангиевым некрозом совпадает с минимальным радиальным приростом или остановкой роста у некоторых климатипов сосны. Нарушение деятельности камбия, приводящее к отсутствию клеток ксилемы, отмечалось у климатипов из группы «неустойчивых» к ценангиевому некрозу в годы эпифитотии. Отсутствие годичных колец фиксировалось на древесном керне в одном или двух противоположных радиусах. К климатипам, у которых отмечалось выпадение годичного кольца, относились потомства сосны из южных лесостепных районов Сибири.

Анатомические характеристики древесины были исследованы у климатипов, представляющих разные группы устойчивости, в условиях суглинистой темно-серой лесной почвы, в отсутствие грибных заболеваний. Устойчивые климатипы отличаются меньшими показателями площади клеточных стенок и большими показателями площади просвета трахеид в ранней древесине. Доля поздней древесины с включением переходной зоны у устойчивых климатипов имеет меньшие значения (31–38 %) по сравнению с неустойчивыми климатипами (40–45 %). Таким образом, неустойчивые климатипы отличаются более плотной древесиной с вероятно менее интенсивным транспортом воды в древесине.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р.* Селекция сосны обыкновенной по устойчивости к грибным патогенам в географических культурах // Хвойные бореальной зоны. 2009. XXVI, 1. С. 76–81.
2. *Kuzmina N.A., Kuzmin S.R.* Intraspecific response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) to pathogens in a provenance trial in Middle Siberia // Eurasian J. For. Res. 2008. 11–2. P. 51–59.
3. *Manninen A.M., Tarhanen S., Vuorinen M., Kainulainen P.* Comparing the variation of needle and wood terpenoids in Scots pine provenances // Journal of Chemical Ecology. 2002. 28. P. 211–228.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках базового проекта № 0356-2019-0024.

УДК 630*232.19:582.457

УТОЧНЕНИЕ ЛЕСОСЕМЕННОГО РАЙОНИРОВАНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ

Н.А. КУЗЬМИНА[1], С.Р. КУЗЬМИН[2]

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (kuz@ksc.krasn.ru[1]; skr_7@mail.ru[2])

Разработаны рекомендации по уточнению лесосеменного районирования сосны обыкновенной на территории Красноярского края и Иркутской области. На основе комплексной оценки успешности роста географических культур в Богучанском лесничестве Красноярского края предлагается ограничиться шестью лесосеменными районами вместо десяти, действующих в настоящее время.

SCOTS PINE FOREST SEED ZONING CORRECTION ON THE TERRITORY OF SIBERIA

N.A. KUZMINA[1], S.R. KUZMIN[2]

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (kuz@ksc.krasn.ru[1], skr_7@mail.ru[2])

Recommendations of Scots pine forest seed zoning correction were developed for the territory of Krasnoyarsk krai and Irkutsk oblast. The complex assessment of provenances growth success in conditions of trial in Krasnoyarsk krai Boguchany forestry was the basis of recommendations. It is suggested to use only six forest seed zones instead of ten, which are in use now.

Результаты изучения внутривидовой дифференциации сосны обыкновенной в географических культурах являются научной основой для разработок рекомендаций по уточнению лесосеменного районирования. Испытание семенного потомства в географических и испытательных культурах остается в настоящее время одним из основных способов установления генетической ценности климатических экотипов.

Первое официальное лесосеменное районирование основных лесообразующих видов было разработано по заданию Государственного комитета СССР по лесному хозяйству и введено в действие в 1982 году [3]. Введение в действие лесосеменного районирования являлось важнейшей составной частью общей программы генетического улучшения лесов в стране в 80-90-х гг. XX века. В пределах ареала сосны обыкновенной было выделено 85 лесосеменных районов, на территории Красноярского края и Иркутской области – 13 лесосеменных районов. В 2015–2016 гг. введено в действие новое лесосеменное районирование сосны обыкновенной [4], согласно которому на территории России выделено 22 лесосеменных районов, а на территории Красноярского края и Иркутской области – 10 лесосеменных районов.

Государственная сеть географических культур сосны обыкновенной создана в 1976–1977 гг. для уточнения лесосеменного районирования, отбора лучших климатипов и решения фундаментальных задач в области внутривидовой дифференциации [1]. Географические культуры в Богучанском лесничестве Красноярского края являются частью этого эксперимента: они представляют собой уникальную генетическую коллекцию сосны обыкновенной, и в их составе имеется 84 климатических экотипа, происхождение которых простирается от Кольского полуострова до Охотского моря. Тестируются климатипы на участках с разными почвенными и лесорастительными условиями. В настоящее время географические культуры достигли II класса возраста, в котором результаты исследования селекционных показателей, согласно методике, являются научной базой для разработки рекомендаций по уточнению лесосеменного районирования вида в регионе.

В результате экспертной оценки успешности роста сосны обыкновенной в 40-летних географических культурах в Красноярском крае стало возможным провести

уточнение действующего лесосеменного районирования на территории Сибири. Основанием для уточнения послужила комплексная оценка селекционно-лесоводственных показателей: сохранности, средних высот и диаметров, объема ствола, запаса стволовой древесины, формы ствола, устойчивости к грибным патогенам [2]. Все показатели оценивались в долях стандартного отклонения от среднего значения на участке. Такой подход позволил определить средний селекционный показатель, или критерий успешности роста и состояния каждого климатипа на двух участках с разными лесорастительными условиями.

Одним из важных показателей в оценке успешности роста является средняя высота климатипов сосны. На участке с дерново-подзолистой песчаной почвой высокие значения средних высот отмечаются у климатипов из южной тайги с территории Красноярского края, Иркутской области; у климатипов из средней и южной тайги с территории европейской части ареала сосны (Архангельской обл. Карелии, Вологодской обл. Республики Коми); у климатипов из лесостепи Южного Урала и Западной Сибири; у трех климатипов из степных подтаежных лесов Забайкалья. Превышение средней высоты у этих климатипов достигает двух стандартных отклонений (рис. 1). Климатипы с территории европейской части ареала сосны, из западных, южных и центральных регионов России и ближнего зарубежья, значительно отстают от контроля и от среднего значения на участке, отклонения составляют от –0,3 до –1,8 стандартного отклонения. Отклонения от средней высоты с отрицательным

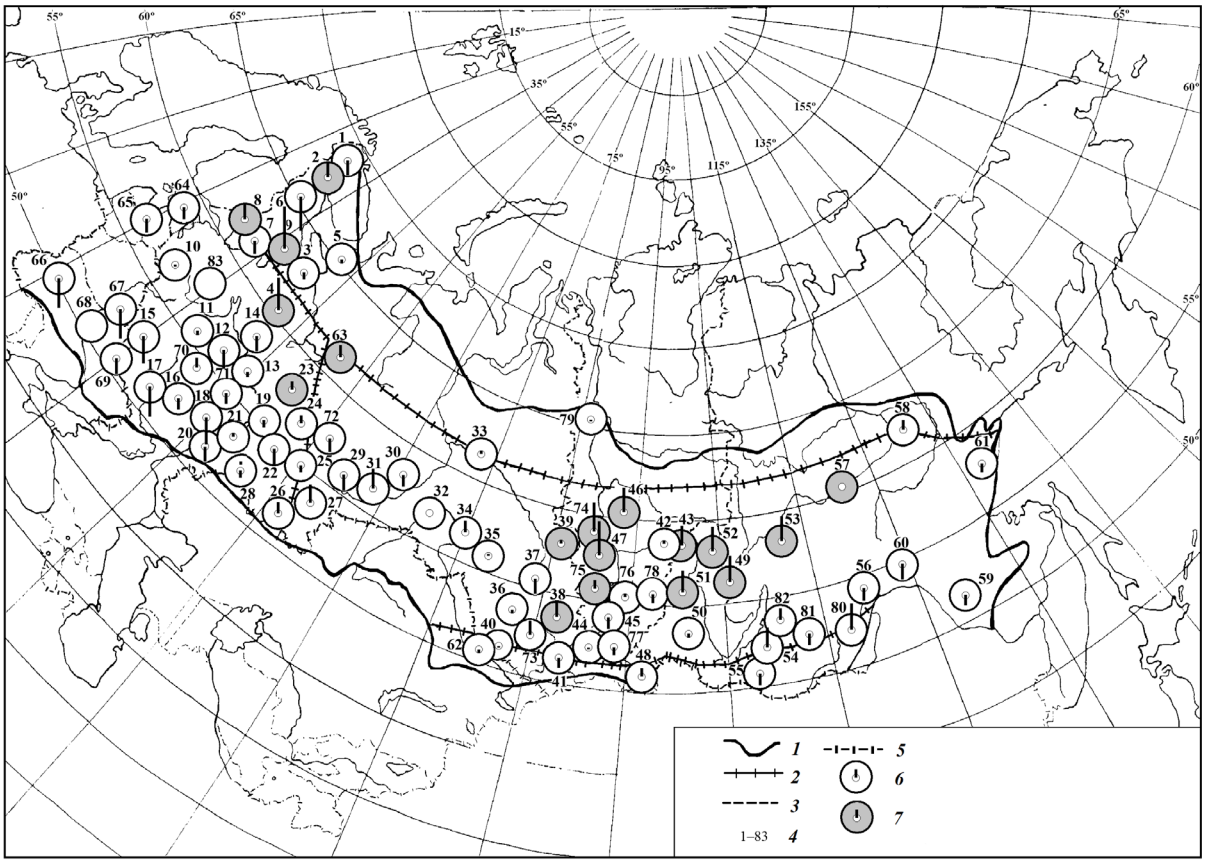


Рис. 1. Средняя высота климатических экотипов сосны в долях стандартного отклонения от среднего значения на участке с песчаной почвой (1 – граница ареала вида; 2 – граница подвидов по Л.Ф. Правдину [5]; 3 – граница Красноярского края; 4 – номера климатипов; 5 – граница государств; 6 – столбец, идущий вверх от центра – превышение среднего значения, вниз – отставание от среднего. Радиус окружности равен стандартному отклонению (1σ); 7 – выделенные на участке перспективные климатипы

знаком (от –0,1 до –0,7) имеют некоторые климатипы сосны из подтаежных лесов с южных территорий Сибири: очевидно, что климатипы сосны с этих территорий испытывают экологические ограничения в адаптации на участке с дерново-подзолистой почвой.

На участке с темно-серой лесной суглинистой почвой у исследуемых климатипов по средней высоте отмечается другая ситуация, число климатипов с превышениями средней высоты значительно увеличивается у сосны с территории лесостепной и подтаежной зоны Сибири. Превышения варьируют от 0,3 до 2 стандартных отклонений. В условиях темно-серой лесной почвы у климатипов из лесостепной зоны Южного Урала и Западной Сибири проявляются потенциальные наследственные свойства по росту и стволовой продуктивности по сравнению с их ростом на участке с дерново-подзолистой песчаной почвой. Аналогичные результаты на исследуемых участках отмечаются у климатипов по запасу стволовой древесины.

В рамках уточнения лесосеменного районирования сосны обыкновенной для лесных предприятий, занимающихся выращиванием лесных культур и плантаций, на территории Красноярского края и Иркутской области рекомендуем вместо десяти действующих – № 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 [4] – ограничиться шестью лесосеменными районами. Это: 1. Туруханско-Эвенкийский, 2. Ангаро-Ленский, 3. Саянский, 4. Минусинско-Шушенские боры. 5. Предбайкальский. 6. Якутский.

Туруханско-Эвенкийский лесосеменной район занимает территории Туруханского и Эвенкийского лесничеств Красноярского края и Катангского лесничества Иркутской области; Ангаро-Ленский – самый большой район, охватывает территории 37 лесничеств центральной части Красноярского края и 16 лесничеств Иркутской области, расположенных в бассейнах рек Ангары и Лены. 3. Саянский лесосеменной район представляют сосновые леса юга Красноярского края, Хакасии и юго-западной части Иркутской области (южная часть Нижнеудинского лесничества). 4. Минусинско-Шушенские боры представляет сосновый бор Минусинской впадины. 5. Предбайкальский лесосеменной район представляют сосновые леса юго-западной территории Иркутской области. 6. К Якутскому лесосеменному району относятся сосняки Бодайбинского лесничества Иркутской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Изучение* имеющихся и создание новых географических культур: программа и методика работ / Под ред. Е.П. Проказина. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
2. *Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р.* Анализ динамики роста климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2017. 2. С. 31–39.
3. *Лесосеменное* районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.: Лесн. промышленность, 1982. 368 с.
4. *Приказ* Рослесхоза от 8 октября 2015 г. № 353 «Об установлении лесосеменного районирования» с изменениями, внесенными приказом Рослесхоза от 28 марта 2016 г. № 100.
5. *Сосна* обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л.Ф. Правдин. М.: Наука, 1964. 190 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках базового проекта № 0356-2019-0024.

УДК 581.866(575.2)(043.3)

РЕГЕНЕРАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ЗЕЛЕНЫХ ЧЕРЕНКОВ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES.*L) В УСЛОВИЯХ ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ

А.С. КУЛИЕВ, М.К. РАЖАПБАЕВ, Э. АБДИЛАБЕК УУЛУ

НПЦ ИЛ им. П.А. Гана Института биологии НАН КР, Бишкек, Кыргызстан (arstan-66@mail.ru)

Статья посвящена исследованию вегетативного выращивания интродуцированных и естественных популяций облепихи крушиновидной из зеленых черенков и перспективным режимам зеленого черенкования в климатических условиях Чуйской долины.

REGENERATIVE CAPACITY OF GREEN CUTTINGS OF SEA BUCKTHORN (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES.* L) IN CONDITIONS OF CHUY VALLEY

A.C. KULIEV, M.K. RAZHAPBAEV, E. ABDILABEK UULU

Scientific and production center for the study of forests after P.A. Gan of the Biology institute of the National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic (arstan-66@mail.ru)

This article presents the study of vegetative cultivation of introduced and natural populations of sea buckthorn's green cuttings and promising modes of harvesting green cuttings in the climatic conditions of the Chuy valley.

Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) – одна из важнейших дикорастущих пород прирусловых и прибрежных лесов, произрастающих на территории Кыргызстана, которая имеет огромное экологическое значение для местного населения. Ряд регионов Кыргызстана отличается благоприятными условиями для создания успешной промышленной плантации растений этого вида.

Одной из хозяйственно важных задач в республике является обеспечение населения лекарственными и витаминными препаратами. Первоочередным из направлений ее решения выступает хозяйственное использование облепихи, представляющей интерес как пищевое, витаминное и лекарственное растение. Ассортимент продуктов ее переработки достаточно широк и включает хорошо известное облепиховое масло, а также другие высокоэффективные препараты.

В природе облепиха размножается как семенами, так и вегетативным путем – корневыми отпрысками, отводками. В настоящее время арсенал способов размножения облепихи в культуре значительно расширен, их описание можно встретить в специальной литературе. В большинстве своем это традиционные приемы размножения растений, приспособленных к облепихе. Для закладки плантаций облепихи крушиновидной используются сорта, наиболее соответствующие местным климатическим условиям и отличающиеся хорошей урожайностью, качеством плодов и устойчивостью к вредителям и болезням.

Ценные сорта и формы облепихи крушиновидной следует размножать только вегетативным путем. Для получения черенкового материала в питомниках или поблизости от них закладываются маточные насаждения. Сорта или формы подбираются исходя из сроков соответствия цветения женских и мужских цветов [1].

Зеленое черенкование облепихи наряду с размножением одревеснеющими черенками являются наиболее перспективными способами тиражирования этого растения. Стоит отметить, что каждый из этих способов размножения имеет свои преимущества и свои недостатки.

Методика исследований. Программой исследований предусматривались задачи:

– Выявить регенеративную способность облепихи различного происхождения,

– Установить перспективные режимы зеленого черенкования облепихи.

Объектами изучения являлись интродуцированные сорта облепихи крушиновидной и представители местных естественных популяций. Исследования проводились полевыми, стационарными и лабораторными методами.

Для выявления лучшего срока заготовки зеленых черенков они заготавливались и укоренялись 1, 10, 20 июня, 1, 10, 20 июля, 1 августа. Сразу после заготовки и нарезки черенки помещались в воду во избежание подсыхания свежих срезов.

Подготовленные для посадки черенки хранились в воде в защищенном от ветра месте. Зеленые черенки высаживались в парнике [2]. Субстрат готовили следующим образом: на дно посадочных коробов (без дна) насыпали дренажный слой из щебня толщиной 10 см, сверху насыпали чистый речной песок слоем 20 см. Подготовленную посадочную поверхность протравливали 0,5%-м раствором марганцевокислого калия.

Поверхность посадочного места маркировали с учетом принятой схемы размещения: 3 см в ряду и 7 см в междурядьях. Черенки высаживались вручную вертикально, с глубиной заделки 1,5 см.

При зеленом черенковании отпадает необходимость преждевременной заготовки и хранения годичных побегов. Изучение облепихи различного географического происхождения выявило разнокачественность регенерационной способности. В отличие от одревесневших, у зеленых черенков в год укоренения образуется только корневая система, а надземная часть развивается в течение второго вегетационного периода.

Неоднотипность регенерационной способности облепихи зафиксирована по всем изучаемым показателям. Установлено, что укореняемость зеленых черенков зависит в значительной степени от срока заготовки и укоренения (табл. 1).

Материалы табл. 1 указывают на то, что при разных сроках заготовки черенков изменяется уровень их укореняемости: эта закономерность характерна для всех изучаемых сортов и форм облепихи. При разном уровне укореняемости реакция изучаемых сортообразцов на сроки заготовки является одинаковой, то есть не наблюдается резких перепадов в разные стороны: все они либо возрастают, либо уменьшаются.

Из табл. 1 видно, что в первые два срока (1 и 10 июня) процент укореняемости возрастает, 20 июня отмечается наивысшая укореняемость зеленых черенков, в последующие сроки отмечается общий спад уровня укореняемости. Рассчитанная с помощью дисперсионного анализа величина наименьшей существенной разности при 0,5%-м уровне значимости ($НСР_{05}$) для средней укореняемости по сортообразцам в зависимости от сроков заготовки зеленых черенков указывает, что существенная разница уровня укореняемости между максимальным значением (85,4 % – 20 июня) и другими сроками наблюдается 1 июня (85,4–73,6 > 7,13), 10 июля и позже. В период с 10 июня по 1 июля существенной разницы между сроками заготовки не установлено. Анализируя степень укореняемости отдельно по сортам и формам, можно отметить, что реакция на регенерационную способность зависит также от географического происхождения изучаемых объектов. Так, наибольший уровень укореняемости среди кыргызстанских образцов демонстрирует форма Арстанбапская: средний показатель по срокам для нее равен 77,6 %, максимальный – 87 % – 20 июня, минимальный – 1 августа, 66 %. Наименьший уровень укореняемости зафиксирован у Суусамырской формы: средняя величина – 64,9 %, максимальная приходится на 20 июня – 74 %, минимальная – на 1 августа, 56%. Формы Кара-Сууйская и Кызыл-Унгурская также имеют низкий уровень регенерационной способности.

Сорта западносибирского происхождения укореняются на промежуточном уровне выше абсолютного среднего 76,2 %, рассчитанного на основании средних показателей сортов и форм, который можно рассматривать в качестве средней

величины укореняемости облепихи как вида.

Таблица 1. Зависимость укореняемости зеленых черенков от сроков их заготовки

№№ пп	Сорта и формы	Даты заготовок и уровень укореняемости, %							Средняя укореняемость по срокам заготовок,%	НСР (05)
		01.06	10.06	20.06	1.07	10.07	20.07	1.08		
1	Арстанбапская	75	82	87	84	79	70	66	77,6	7,13
2	Обильная	80	85	94	90	83	77	72	83,0	
3	Кара-Сууйская	70	73	78	74	70	66	62	70,4	
4	Кызыл-Унгурская	69	74	81	76	71	68	61	71,4	
5	Суусамырская	56	69	74	70	67	62	56	64,9	
6	ВИЛ-4	82	89	93	89	84	78	73	84,0	
7	Новость Алтая	83	88	91	87	83	75	69	82,3	
Средняя укореняемость		73,6	80,0	85,4	81,4	76,7	70,9	65,6	76,2	

Цифровые данные табл. 1 приведены на рис. 1, где изображена динамика укореняемости зеленых черенков в зависимости от сроков заготовки. На графическом изображении показана выборка наиболее контрастных сортообразцов.

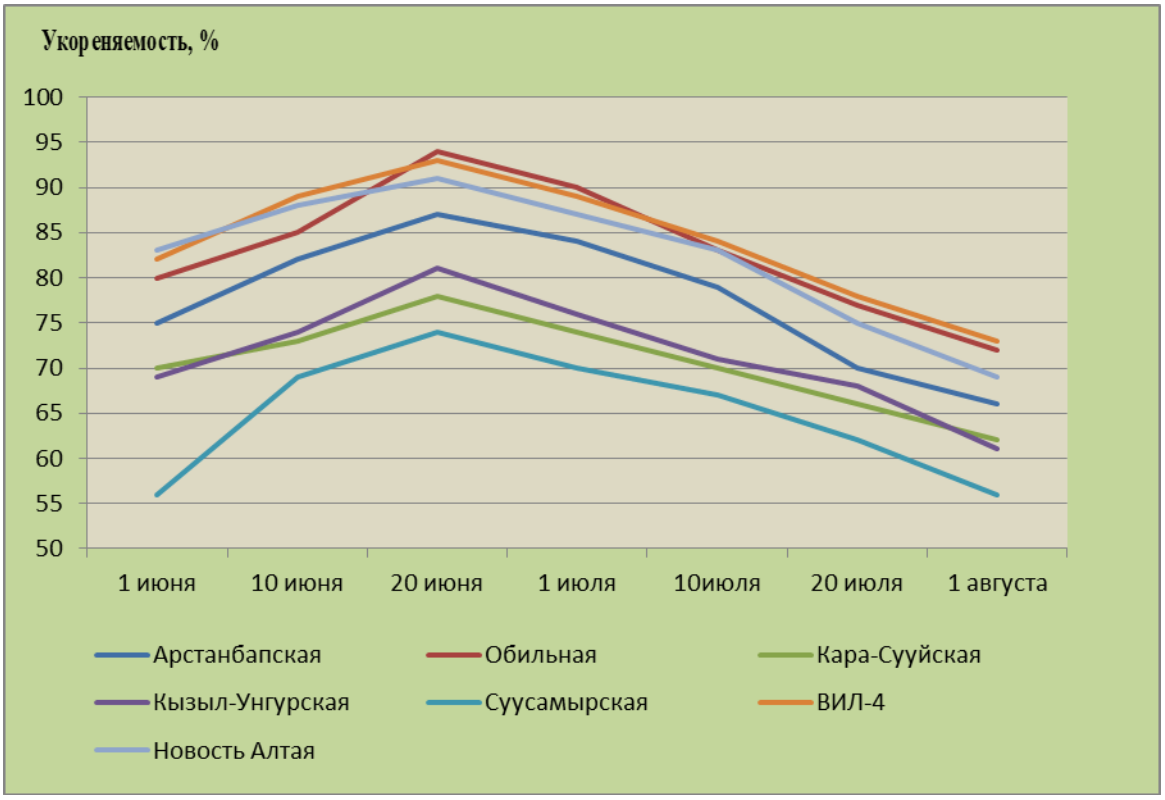


Рис. 1. Укореняемость зеленых черенков облепихи

Из рис. 1 видно, что верхнее положение на общем фоне сортообразцов занимает сорт Обильная, ниже пролегает линия, относящаяся к форме Суусамырская. Нижний уровень занимают формы Кызыл-Унгурская, Кара-Сууйская и Суусамырская, показавшие уровень укореняемости ниже абсолютного значения – 76,2 %. При анализе рисунка можно обнаружить, что линии кривой укореняемости всех сортов и форм почти параллельны между собой в пределах каждого срока заготовки черенков.

Проведенный однофакторный дисперсионный анализ подтверждает достоверность выявленных различий (табл. 1).

Материалы табл. 1 показывают, что опытные критерии Фишера во много раз превосходят табличные значения (2,69). Значение наименьшей существенной разности указывает на достоверность различий между образцами, если в целом по укореняемости различия превышают 7,1 %. Исходя из этого положения можно констатировать, что различия между сортами и формами в большинстве случаев признаны достоверными.

Таким образом, из результатов исследований можно сделать заключение, что срок заготовки зеленых черенков в большой степени влияет на степень их укореняемости. Экспериментально доказано, что оптимальным сроком заготовки и посадки зеленых черенков облепихи является временной промежуток между 10 июня и 10 июля: укореняемость при этом в среднем составляет 82,7 % при 94,4%-м среднесортовом максимуме и 69%-м минимуме.

Резюмируя вышеприведенное, следует отметить, что зеленое черенкование является одним из перспективных способов вегетативного размножения облепихи крушиновидной.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чмыр А.Ф., Бессчетнов В.П.* Экология и культура облепихи // СПб.: СПбНИИЛХ, 1998. 278 с.
2. *Елисеев И.П.* Перспективы культуры облепихи в средней полосе СССР // Садоводство. 1976. № 8. С. 21–22.

УДК 630*17:582.931.4:632.35

ТУБЕРКУЛЕЗ ЯСЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО (*FRAXINUS EXCELSIOR* L.) В НАСАЖДЕНИЯХ ПОДОЛЬЯ УКРАИНЫ

И.Н. КУЛЬБАНСКАЯ, А.Ф. ГОЙЧУК

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина (i_kulbanska@ukr.net)

Патология *F. excelsior* – явление многофакторное, в котором системно взаимосвязаны процессы инфекционного и неинфекционного характера. Это существенно затрудняет диагностику ее первопричин и охватывает диапазон болезней, которые поражают стволы и побеги, а также генеративные органы, особенно на деревьях вегетативного происхождения, где часто вызывают эпифитотии.

TUBERCULOSIS OF ASH TREE (*FRAXINUS EXCELSIOR* L.) IN THE PLANTATIONS OF THE PODOLYA UKRAINE

I. M. KULBANSKA, A.F. GOYCHUK

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine (i_kulbanska@ukr.net)

F. excelsior pathology is a multifactorial phenomenon, in which infectious and non-infectious processes are systematically interrelated, which makes it difficult to diagnose its root causes and covers the range of diseases that affect ...the trunks, shoots and generative organs, especially on the trees of vegetative origin, where it often causes epiphytotics.

С разных точек планеты поступают известия о похожей и отличающейся симптоматике патологии *Fraxinus excelsior* L. На основе исследований выдвинут ряд возможных возбудителей – грибы [7], бактерии [1, 4], нематоды [5], микоплазмы [7], представители вредоносной энтомофауны [3], а также влияние климатических и почвенно-гидрологических факторов, однако единого консенсуса пока не достигнуто. Вместе с тем исследователи едины в том, что деградация обусловлена не одним фактором, а комплексом взаимосвязанных стрессовых факторов, которые сложно и по-разному сочетаются в различных природно-климатических зонах и часто проявляются в течение длительного периода.

В Украине также сложилась непростая ситуация с фитосанитарным состоянием ясеня обыкновенного, которая требует неотложного решения [1, 2, 6]. Характерным в данном случае является последовательное географическое ухудшение состояния древесных насаждений, находящихся в подчинении Государственного агентства лесных ресурсов Украины, а также ясеня в лесопарках, полезащитных полосах, в насаждениях населенных пунктов. Визуальное проявление последствий патологии системно взаимосвязано с гидротермическими показателями текущего года, физиологическим состоянием деревьев и наличием насекомых-фитофагов.

Особое беспокойство вызывает туберкулез ясеня (возбудитель – *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi*), поражающий стволы, ветви, соцветия, то есть вызывающий диффузное поражение ясеня обыкновенного [1, 2]. В частности, под действием патогена в пораженных растениях образуются многочисленные раковины, пустоты, каверны, гнилые участки и т. п., что не только ухудшает физиологические процессы деревьев и обесценивает древесину, но и существенно угрожает семенному возобновлению этого ценного древесного растения из-за поражения генеративных органов.

Поэтому исследования симптоматики и патогенеза туберкулеза ясеня в сочетании с выяснением механизмов передачи и распространения инфекции от больного дерева к здоровому в контексте разработки мер борьбы с болезнью, безусловно, актуальны.

Цель работы – детальное исследование симптоматики и этиологии туберкулеза *F. excelsior* L. в условиях Подолья Украины в контексте комплексной оценки его санитарного состояния.

Материалы и методика исследований. Объектом исследования выбраны вегетативные и генеративные органы деревьев *F. excelsior* L. Материал для анализа был собран в насаждениях свежих дубрав Подолья Украины (24 временные пробные площади в условиях ГП «Чертковское ЛГ», «Тернопольское ЛГ», «Бучацкое ЛГ» и др.), которые, как известно, являются оптимальными для роста высокопродуктивных широколиственных лесов с участием дуба, ясеня и других ценных древесных растений.

В процессе исследований применялись рекогносцировочные и детальные методы лесопатологических обследований, а также методы фитопатологических, микробиологических и микологических исследований по общепринятым методикам [3]. Микробиологические и микологические исследования проведены на базе Института микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины.

Результаты исследований. Патогенная мико- и микробиота *F. excelsior* охватывает диапазон болезней, которые, несмотря на системность распространения инфекции, поражают стволы и побеги, а также генеративные органы, особенно на деревьях вегетативного происхождения, где часто вызывают эпифитотии. Патологический процесс приводит не только к угнетению лесных древесных растений, снижению семенной продуктивности, уменьшению прироста, но и к их отмиранию.

В регионе исследования нами выявлено 11 видов насекомых-фитофагов, которые относятся к представителям *Coleoptera*, *Hemiptera*, *Diptera* и *Lepidoptera*. Наибольшей плотностью (в пределах 30 %) на ослабленных и усыхающих деревьях *F. excelsior* отличались фитофаг *Prays curtisellus* Don., ксилофаги *Hylesinus crenatus* Fabr. и *Hylesinus fraxini* Panz. Установлены экологические, трофические и механические связи между возбудителями туберкулеза ясеня обыкновенного и карпофагами, в частности, с *Lignyodes enucleator* Panz. в накоплении, сохранении и передаче инокулюма *P. syringae* pv. *savastanoi* в природных экосистемах.

Среди микобиоты пораженных побегов и стволов *F. excelsior* идентифицировано 7 родов микромицетов, которые объединяют 10 видов анаморфных грибов. Высоким коэффициентом заселения (57,1 %) характеризуется *Ulocladium botrytis* Preuss, низким (14,3 %) – *Acremonium strictum* W. Gams., *Cylindrocarpon didymum* (Harting), *Fusarium sporotrichiella* Bilaivar., *Fusarium heterosporum* Nees.

Микрофлора инфицированных побегов, листьев и почек усыхающих деревьев *F. excelsior* характеризуется наличием комплекса патогенных видов – *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas syringae*, Pseudomonas sp., *Erwinia herbicola*, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, которые дисперсно локализуются на пораженных участках ясеня.

Самой распространенной и наиболее вредоносной компонентой патогенной микрофлоры, которая поражает как вегетативные, так и генеративные органы *F. excelsior*, является фитопатогенная бактерия, которая по анатомо-морфологическим и физиолого-биохимическими характеристиками отнесена к *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* (Smith 1908) Young et. al. 1978, – возбудитель туберкулеза ясеня. Возбудитель может поражать деревья с 2–3-летнего возраста. Первичные симптомы заболевания провляются в образовании на стволах небольших эллипсовидных мягких опухолей. Со временем пораженные участки ствола становятся более плоскими, растрескиваются, камбий и луб в средней части отмирают и разрушаются. В центре туберкулезных образований формируется трещина, которая со временем зарастает. Однако полного зарастания не происходит. Из года в год образуются новые опухоли, которые распространяются как по длине, так и по периметру ствола (ветви). Как

следствие, формируются специфические многолетние поражения. У пораженных деревьев часто, но не всегда, происходят нетипичные метаморфозы с крылатками (изменение формы, цвета, консистенции).

Исследованиями установлена прямая зависимость распространенности болезни от доли ясеня в составе насаждений разных возрастных групп. Так, в чистых ясеневых древостоях свежих дубрав распространенность туберкулеза варьирует от 42,3 до 79,3 % в насаждениях всех возрастных групп. При уменьшении доли ясеня в насаждениях на треть (средневзвешенный показатель для 6–9 единиц ясеня) распространенность болезни была в 1,4–2 раза меньше по сравнению с чистыми древостоями. Наименьшая распространенность заболевания отмечена нами в насаждениях с долей *F. excelsior* в пределах ценотического оптимума – 17,6; 14,8 и 9,7 % в молодняках, средневозрастных и приспевающих насаждениях соответственно.

Известно, что происхождение насаждения определяет его биологическую устойчивость. По нашим данным, порослевые насаждения ясеня характеризуются пониженной устойчивостью к возбудителю туберкулеза. Сейчас как в регионе исследований, так и в ареале *F. excelsior* туберкулез достиг эпифитотии на порослевых деревьях, особенно молодого возраста.

Для исследования влияния происхождения насаждений на распространение туберкулеза мы подобрали насаждения различных возрастных групп с долей ясеня в их составе 5 единиц как наиболее распространенных в регионе исследований. Наиболее чувствительными к возбудителю туберкулеза являются деревья ясеня младших возрастных групп, где нами обнаружено 80,7 % пораженных растений.

При искусственном поражении *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* вызывала реакцию сверхчувствительности на листьях табака, обнаружила высокие патогенные свойства на различных органах *F. excelsior* и индикаторных растениях. Листья *F. excelsior* нечувствительны к возбудителю.

Среди бактерий и грибов, изолированных с вегетативных и генеративных органов ясеня обыкновенного, в том числе фитопатогенных, не обнаружено антагонистов со стерильной зоной, превышающей 30 мм, что не дает оснований для дальнейшего их изучения как биопестицидов. Факторами ограничения заселения *F. excelsior* фитопатогенными бактериями являются спороносные бактерии и микромицеты.

С целью профилактики и для снижения общего инфекционного фона следует проводить систематический мониторинг в насаждениях с участием ясеня обыкновенного, соблюдать ценотический оптимум ясеня в составе древостоев, не допускать куртинного загущения, удалять и утилизировать молодую поросль дерева, пораженную *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi*, и создавать благоприятные условия для роста и развития ясеня обыкновенного.

Для защиты ясеня от бактериальной инфекции (туберкулез) перспективным является использование биопрепаратов на основе Bacillus sp., что подтверждено лабораторными исследованиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гойчук А.Ф., Кульбанськка І.М.* Патологія ясена звичайного в насадженнях Західного Поділля [Електронний ресурс] / Лісове і садово-паркове господарство. 2013. № 3. [Электронный ресурс.] URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/licgoc_2013_3_3.pdf.
2. *Кульбанская И.Н.* Патогенез туберкулеза ясеня обыкновенного в условиях Западного Подолья Украины / Лесной журнал. 2015. № 6. С. 75–84.
3. *Фітопатогенні* бактерії. Методи досліджень. Т. 2. Патика В.П., Пасічник Л.А., Гвоздяк Р.І. та ін., Вінниця: Інтерсервіс, 2017. 432 с.
4. *Черпаков В.В.* Бактериальные болезни лесных пород в патологии леса / Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 200. СПб.: СПб ГЛТУ, 2012. С. 292–303.

5. *Chen L., Liu J., Gu J., Wang Zh.* Seasonal Dynamics of Soil Nematodes in Fraxinus mandshurica and Larix gmelinii Plantations. [Электронный ресурс.] URL: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-LYKE201112012.htm.
6. *Davydenko K. et al.* Fungi in foliage and shoots of *Fraxinus excelsior* in eastern Ukraine: a first report on *Hymenoscyphus pseudoalbidus* / For. Path. 2013. Vol. 43. Pp. 462–467.
7. *Sinclair E.* Mycoplasmal infection found m four ash species in midwestern states / Plant Disease. 1987. Vol. 71. 761 p.

УДК 551.58

МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА, ВЛАГИ И CO_2 В ЮЖНОТАЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РФ

Ю.А. КУРБАТОВА, А.В. ВАРЛАГИН, В.В. МАМКИН, В.К. АВИЛОВ, Д.Г. ИВАНОВ

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия (kurbatova.j@gmail.com)

Представлена информация о результатах наблюдений за потоками тепла и парниковых газов между лесными (болотными) экосистемами и атмосферой на базе локальной сети эколого-климатических станций на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника.

MONITORING OF HEAT, WATER AND CO_2 ECOSYSTEM FLUXES IN SOUTHERN TAIGA OF THE EUROPEAN RUSSIA

Yu.A. KURBATOVA, A.V. VARLAGIN, V.V. MAMKIN, V.K. AVILOV, D.G. IVANOV

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Moscow, Russia (kurbatova.j@gmail.com)

The results of monitoring of heat and greenhouse gas fluxes between forest (wetland) ecosystems and the atmosphere are presented. The fluxes were estimated on the base of the local network of eddy covariance stations in the Central Forest State Natural Biosphere Reserve.

Проблема оценки обменных потоков энергией и веществом между биогеоценозами и атмосферой является одной из центральных в современных экологических исследованиях. Развитие компьютерной и измерительной техники в конце прошлого века привело к созданию и широкому использованию в изучении атмосферно-биосферного обмена эколого-климатических станций (ЭКС) (в англоязычной литературе – Eddy Covariance Flux Towers, или Flux Towers). Первые наблюдения на европейской территории РФ на базе ЭКС были начаты сотрудниками Лаборатории биогеоценологии им. В.Н. Сукачева (ИПЭЭ РАН) по инициативе проф. Н.Н. Выгодской (ИПЭЭ РАН) в рамках международного проекта EuroSiberian Carbonflux (под рук. Д. Шульце, Институт Биогеохимии Макса Планка, Германия) в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике (Тверская обл.). Измерения на эколого-климатических станциях позволяют вести непрерывную высокочастотную (10, 20 Гц) регистрацию вертикальной скорости ветра и концентраций исследуемых газов (в нашем случае воды и CO_2). Результаты измерений используются для дальнейшего расчета потоков тепла и парниковых газов, который основан на оценке пульсаций ветра и концентрации газа. Первые наблюдения были начаты в летний период 1998 г. в ельнике сфагново-черничном и на верховом болоте Старосельский мох. Подробное описание приборной базы станций приведено в [4, 5]. В 1999 г. программа исследований была расширена наблюдениями в неморальном ельнике. В 2000 г. на верховом болоте в связи с окончанием международного проекта измерительный комплекс был демонтирован. В 2015 г. при поддержке грантов российских научных фондов пульсационные наблюдения на болоте Старосельский мох были возобновлены, также была обновлена приборная база на лесных вышках. В апреле 2016 г. были организованы пульсационные наблюдения на сплошной вырубке. В настоящее время сотрудниками Лаборатории биогеоценологии им. В.Н. Сукачева поддерживаются стационарные круглогодичные наблюдения на базе ЭКС в трех ненарушенных экосистемах заповедника: на верховом болотном массиве и в ельниках сфагново-черничном и неморальном. Пульсационные наблюдения дополнены периодическими наблюдениями за дыханием почвы на основе камерных методов.

Результаты наблюдений на ЭКС в Центрально-Лесном заповеднике обобщены и представлены в ряде публикаций [2, 3, 4, 5, 6, 7 и пр.]. Многолетние экспериментальные наблюдения позволили получить кумулятивные оценки (для разных периодов – от 0,5 часа до года) потоков CO_2, тепла и влаги, а также температурно-влажностного режима почвы и атмосферы, потоков солнечной радиации, потоков длинноволновой радиации, атмосферного давления, направления и скорости ветра и других метеорологических характеристик для типичных южнотаежных экосистем европейской части РФ.

Оценки нетто-экосистемной продукции (NEP) выявили высокую чувствительность NEP экосистем олиготрофного заболачивания (ельник сфагново-черничный и болото Старосельский мох) к сезонной и межгодовой изменчивости температурно-влажностного режима.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лавров С.А., Курбатова Ю.А.* Математическое моделирование тепловлагообмена и потоков CO_2 // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2005. 41. 5. С. 631–644.
2. *Arneth A., Kurbatova J., Lloyd D., Kolle O., Schibistova O., Vygodskaya N.N., Schulze E.-D., Lloyd J.* Ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russia and a central Siberia bog. 11. Internseasonal and interannual variability of CO_2 fluxes // Tellus, 2002. 54B (5). 514–530.
3. *Ivanov D., Tatarinov F., Kurbatova J.* J. For. Res. 2019. https://doi.org/10.1007/s11676-019-00963-4.
4. *Kurbatova J., Arneth A., Vygodskaya N.N., Kolle O., Varlagin A., Milyukova I., Tchebakova N., Schulze E.-D., Lloyd J.* Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in European Russian and central Siberian bog. I. Interseasonal and interannual variability of energy and latent heat fluxes during the snowfree period // Tellus-Series B. 2002. Vol. 54 (5). 497–513.
5. *Kurbatova J., Li C., Varlagin A., Xiao X., Vygodskaya N.* Modeling carbon dynamics in two adjacent spruce forests with different soil conditions in Russia // Biogeosciences. 2008. 5. Pp. 969–980.
6. *Kurbatova J., Li C., Tatarinov F., Varlagin A., Shalukhina N., Olchev A.* Modeling of the carbon dioxide fluxes in European Russia peat bog // Environ. Res. Lett. 2009. 4: 045022 (7 pp).
7. *Kurbatova J., Tatarinov F., Molchanov A., Varlagin A., Avilov V., Kozlov D., Ivanov D., Valentini R.* Partitioning of ecosystem respiration in a paludified shallow-peat spruce forest in the southern taiga of European Russia // Environ. Res. Lett. 2013. 8: 045028 (9 pp).

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41127 РГО а, проекта РФФИ № 19-04-01234-А, программ Президиума РАН № 41 «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России» и № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

УДК 630*

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА КОРЕННЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

И.Н. КУТЯВИН, А.В. МАНОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

Приводятся результаты исследований горизонтальной структуры среднетаежных сосновых древостоев и подроста. Показано размещение деревьев древесного яруса на площади. Установлен характер смещения проекций центров крон деревьев относительно оснований их стволов, а также их пространственное размещение на площади.

THE HORIZONTAL STRUCTURE OF PRIMARY PINE TREE STANDS IN THE MIDDLE TAIGA ZONE (KOMI REPUBLIC, RUSSIA)

I.N. KUTYAVIN, A.V. MANOV

Institute of Biology, Komi SC UrD RAS, Syktyvkar, Russia (kutjavin-ivan@rambler.ru)

The paper contains the study results on the horizontal structure of middle-taiga pine tree stands and undergrowth. It describes the location of trees from tree layer at the plot. There are data on the relocation of tree crown centre projections relatively to stem bases, as well as the spatial location of tree crowns at the plot.

Исследования структуры древостоев на постоянных пробных площадях (ППП) позволяют понять процессы развития фитоценотического разнообразия лесных экосистем [1, 2 и др.]. Наибольший интерес представляют древостои, которые формируются под влиянием пирогенного фактора. Детальное изучение строения и структуры древостоев на ППП позволит выявить закономерности формирования сосняков.

Цель данной работы – рассмотреть горизонтальную структуру древостоев сосняков.

Объектом исследования послужили данные четырех ППП коренных сосновых древостоев, развивающихся на автоморфных почвах средней тайги (Республика Коми). Сосновые леса данного региона приурочены в основном к боровым террасам крупных речных бассейнов рек Печора, Вычегда, Мезень. Они представлены зеленомошной, лишайниковой и сфагновой группами типов леса. Древостои обследованных сосняков представлены двумя типами возрастной структуры: ступенчато- и условно разновозрастными. В исследуемых сосняках по пожарным подсушинам выявлено от двух до пяти пожаров. Следует учесть, что пожар является основным фактором, определяющим развитие строения и структуры сосняков на автоморфных почвах Северного Приуралья [3].

На всех исследуемых объектах проведена таксация с измерением биометрических показателей у всех деревьев. Размещение деревьев на ППП рассматривали в прямоугольной системе координат (X, Y) при помощи комплекса для инвентаризации леса Postex Laser Haglof. У всех деревьев находили диаметры крон. При помощи лазерного дальномера по четырем направлениям (север, юг, запад, восток) измеряли радиусы крон как расстояние от центра ствола к периметру кроны. Прямоугольные координаты (X, Y) позиций центров проекций крон были найдены по тригонометрическим расчетам.

При изучении горизонтальной структуры древостоев использовался метод пространственной статистики. Размещение деревьев на плоскости (двумерное пространство) рассматривалось как точечный процесс, где «точки» – положение оснований стволов относительно координат X, Y [4]. Для оценки пространственных

взаимодействий в точечных процессах использовалась простая в интерпретации и носящая неаккумуляционный характер парная корреляционная функция g(r) [6]. Функция g(r) основана на подсчете пар точек, расстояние (r) между которыми не превышает некоторого заданного значения.

Анализ точечных процессов основан на сопоставлении модели наблюдаемого размещения деревьев с моделью полной пространственной случайности (ППС), когда «точки» располагаются случайным образом. Области с верхними (95 %) и нижними (5 %) доверительными интервалами принятия нулевой гипотезы о ППС модели рассчитаны на основе 999 генераций однородного процесса Пуассона [5]. Проверку гипотезы о ППС модели проводили путем оценки поведения парной корреляционной функции. Точечный процесс определяли как агрегированный (сгруппированный), случайный или регулярный (равномерный), если значение $\hat{g}(r)$ было больше, равно или ниже, чем доверительные интервалы соответственно. Статистическая обработка пространственных данных обработана в пакете spatstat в программной среде вычислений R (http://r-project.org).

При статистическом анализе моделей пространственных точечных процессов в сосняках установлены различия в горизонтальной структуре древостоев и подроста. В сосняках брусничном (ППП 1) и бруснично-лишайниковом (ППП 8) отмечаются отклонения от гипотезы о ППС. Здесь встречается слабое группирование деревьев на расстояниях от 2 до 6 м. Это говорит о наличии в данных типах леса более молодых поколений деревьев. Отсутствуют пространственные зависимости в размещении деревьев на площади в сосняках брусничном (ППП 21) и зеленомошном (ППП 22). Эти древостои преимущественно состоят из старовозрастных деревьев, где процессы саморегуляции ослаблены, а пополнение древостоев новым поколением деревьев на данный период практически отсутствует.

Под пологом древостоев развивается от 0,65 до 5,70 тыс. экз. га$^{-1}$ самосева и подроста. Достаточно хорошим возобновлением сосны обладают сосняки со ступенчато-разновозрастным типом возрастной структуры. В условно разновозрастных сосняках возобновительный процесс ослаблен. Однако структура размещения подроста на площади во всех исследованных сосновых сообществах не подчиняется гипотезе о ППС. В сосняках брусничном (ППП 1), бруснично-лишайниковом (ППП 8) и зеленомошном (ППП 22) с преобладающим средним и крупным подростом выявлена высокая агрегация особей на малых расстояниях (до 1…2 м). Древесные растения, развивающиеся под пологом сосняка брусничного (ППП 21) и состоящие преимущественно из самосева и мелкого подроста, образуют большие скопления на расстояниях до 3 м. Контагиозный способ заселения территории молодых особей сосны обусловлен неоднородностью условий фитоценоза и наличием участков со сниженной конкуренцией за элементы минерального питания в почве.

Древостои исследуемых сосняков характеризуются асимметричным развитием крон деревьев. Смещение центров проекции крон относительно оснований стволов деревьев обладает большой вариативностью (C.V. > 30 %). Сосняк брусничный (ППП 21), представленный разреженным древостоем с преобладающим поколением из крупных старовозрастных деревьев с широкой кроной, обладает наибольшей длиной смещения. В этом типе леса весьма наглядно проявляется фототропизм. Так, взрослые деревья под влиянием неравномерного солнечного излучения в древесном пологе вытягивают в сторону света свои ветви, что приводит к формированию эксцентричной формы кроны со смещением центров проекции кроны в юго-восточном направлении (рис. 1в). В остальных типах леса фотопериодизм деревьев отчетливо не выражен. Здесь развитие крон направлено в случайном направлении (рис. 1а, б, г).

Выявленные смещения центров проекций крон относительно оснований стволов деревьев отражают структуру их размещения на площади. В сосняках брусничном (ППП 1) и бруснично-лишайниковом (ППП 8) позиция центров крон образует слабое группирование в радиусе от 2 до 8 метров, которое чуть более выражено и распространяется на большее расстояние, чем размещение оснований стволов деревьев. Случайная структура размещения позиций центров крон на площади присуща соснякам брусничному (ППП 21) и зеленомошному (ППП 22).

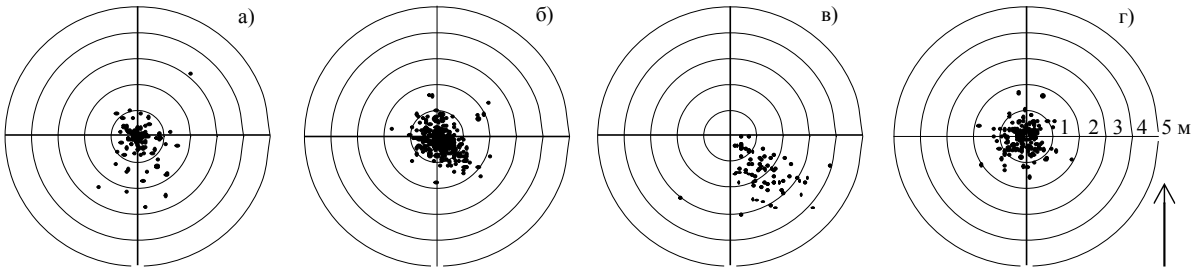


Рис. 1. Направление развития крон деревьев в сосняках: а – брусничном (ППП 1); б – бруснично-лишайниковом (ППП 8); в – брусничном (ППП 21); г – зеленомошном (ППП 22). Точки указывают позицию центров крон деревьев относительно их стволов, стрелка – направление на север

Таким образом, размещение деревьев сосны на площади меняется с возрастом, и на стадии послепожарного заселения территории оно носит агрегированный характер. Молодое поколение деревьев, образующих древесный полог, показывает слабое группирование особей. Взрослые деревья размещены на площади случайно. Со снижением густоты древостоев проявляется эксцентричность в форме крон деревьев в направлении максимального солнечного света. При этом позиции центров крон деревьев особо не отличаются от размещения их стволов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Демаков Ю.П.* Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. 432 с.
2. *Кузьмичев В.В.* Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с.
3. *Кутявин И.Н.* Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 176 с.
4. *Schabenberger O., Gotway C.A.* Statistical methods for spatial data analysis. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2005. 505 p.
5. *Wiegand T., Moloney K.A.* Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology // Oikos. 2004. V. 104. № 2. P. 209–229.
6. *Stoyan D., Penttinen A.* Recent applications of point process methods in forestry statistics // Statistical Science. 2000. V. 15. № 1. P. 61–78.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 18-34-00563 мол-а), а также в рамках Государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН, номер госрегистрации АААА-А17-117122090014-8.

УДК 504.064.36

ВОДНЫЙ БАЛАНС РАЗЛИЧНЫХ СТОКОФОРМИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ В БАССЕЙНЕ МАЛОЙ РЕКИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Л.С. ЛЕБЕДЕВА, В.С. ЕФРЕМОВ

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия (lyudmilaslebedeva@gmail.com)

На водосборе р. Шестаковки, располагающейся в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты, доля подземного питания таликовыми водами составляет 68 %. 80 % водосбора, которые не покрыты таликами, дают 32 % стока реки, или 10 мм/год. Половодье р. Шестаковки формируется за счет поверхностного стока на марях и в лиственнично-березовых лесах, а сток летнего сезона – за счет стока сезонно-талого слоя и таликов в сосновых лесах.

WATER BALANCE OF DIFFERENT FLOW FORMATION COMPLEXES IN THE SMALL WATERSHED IN CENTRAL YAKUTIA

L.S. LEBEDEVA, V.S. EFREMOV

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia (lyudmilaslebedeva@gmail.com)

Talik groundflow contributes 68 % of the total streamflow of the Shestakovka river, located in the continuous permafrost. 80 % of the watershed area, that do not have taliks, contribute 32 % or 10 mm|year. Springflood is formed by surface flow in mar' and larch-birch forests. Summer flow is dominated by water from active layer and taliks in pine forests.

Цель работы – оценка элементов водного баланса и процессов формирования стока на малом исследовательском водосборе р. Шестаковки в Центральной Якутии на основе анализа данных длительных стандартных наблюдений, исторических и современных материалов специальных исследований.

Водосбор р. Шестаковки площадью 170 км^2 располагается на левом берегу р. Лены в 20 км к югу от Якутска в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты мощностью 200–400 м. Геологический разрез представлен песчаными отложениями с редким включением супесей и суглинков. Пост Камырдагыстах сети Росгидромет функционирует с 1951 по настоящее время. Территория Центральной Якутии характеризуется резко континентальным климатом со среднегодовой температурой воздуха 9,5 °С. В почвенном покрове преобладают мерзлотные таежные почвы. Зональным типом растительности является брусничная лиственничная тайга. Сосновые леса занимают 47 % площади водосбора р. Шестаковки, лиственнично-березовые леса – 38 %, мари и болота – 14 % и озера – 1 %. Надмерзлотные субаэральные водоносные талики занимают около 20–25 % площади водосбора и приурочены к хорошо дренируемым склонам, покрытым сосновым лесом [1].

Приходной составляющей водного баланса р. Шестаковки являются жидкие и твердые атмосферные осадки, расходными компонентами – испарение со снега, с почвы, транспирация и речной сток. Круглогодично действующими емкостями являются озера и надмерзлотные талики. Сезонно действующими емкостями – снежный покров и воды сезонно-талого слоя (СТС).

Осадки. Осадки за гидрологический год за период 1950–2014 гг. на метеостанции Якутск варьируются от 128 (2000–2001 гг.) до 342 (2005–2006 гг.) мм со среднемноголетним значением, равным 241 мм/год. Жидкие осадки меняются от 87 до 269 мм/год, составляя в среднем 69 % (165 мм) от общего количества осадков. Твердые осадки варьируются от 41 до 113 мм. На них приходится 31 % (75 мм) общего количества осадков.

Снегозапасы. По данным снегомерных съемок в лесу по метеостанции Якутск, с 1965 по 2011 г. максимальный запас воды в снежном покрове приходится на конец марта или начало апреля и варьируется от 33 до 88 мм со среднемноголетним значением 58 мм. Разница между максимальными за год снегозапасами и суммой твердых осадков составляет от -7 (превышение снегозапасов над осадками) до 33 мм со средним значением 16 мм. Снегомерная съемка может проводиться до выпадения последних твердых осадков и после потерь снега на таяние и испарение. В конце марта и начале апреля происходит интенсивное испарение и частичное таяние снега в солнечные дни даже при отрицательной температуре воздуха и наблюдается выпадение снега. Снегозапасы, фиксируемые снегомерной съемкой, с высокой вероятностью будут ниже суммы твердых осадков.

Испарение со снега. А.Л. Арэ [2] показала, что в Центральной Якутии на открытых участках испарение со снега составляет около 13 мм, под кроной леса – 6 мм. В первой половине зимы испарение со снега ничтожно и может преобладать процесс конденсации. Наиболее интенсивно испарение происходит в марте, апреле и мае.

Поверхностный сток. При снеготаянии в сосновом лесу практически никогда не наблюдается поверхностный сток. За несколько лет работы стоковой площадки на Чабыдинском полигоне А.В. Бойцовым [3] поверхностный сток был зафиксирован всего несколько раз в ничтожно малом количестве, в том числе 8 июня 1984 г. после выпадения месячной нормы осадков (31,8 мм) за один день. 9 июня 1984 г. был зафиксирован исторический максимум расхода воды в замыкающем посту р. Шестаковка – Камырдагыстах. По данным А.В. Бойцова [3] и Скрябина с соавт. [4], в период таяния снега талые воды легко проникают в мерзлые пористые пески на участках распространения сосновых лесов. В лиственнично-березовых лесах и марях талые воды не могут фильтроваться в льдонасыщенные мерзлые породы, и при наличии уклона образуется сток в приповерхностном органическом слое. По мере протаивания почвы приповерхностный сток не наблюдается в лиственнично-березовых лесах. В зависимости от осадков ручьи на мари могут функционировать или полностью пересыхать в течение летнего сезона.

Сток СТС. Даже в самые сухие периоды нижняя часть СТС в лиственнично-березовых лесах, марях и болотах под плотной моховой подушкой насыщена водой до состояния полной влагоемкости. На заболоченных и задернованных участках формируются обычно небольшие по площади маломощные линзы и узкие потоки надмерзлотных вод СТС [3]. В отличие от лиственнично-березовых лесов, марей и болот, СТС в сосновых лесах не достигает полного водонасыщения, а до глубины 1 м находится, как правило, в иссушенном состоянии при влажности менее 5 % [4].

Подземный сток таликов. По наблюдениям А.В. Бойцова, подземный сток Чабыдинского талика составляет в среднем 80–90 мм за теплый сезон. Допуская, что эта оценка репрезентативна для других таликов в бассейне р. Шестаковки, и оценивая площадь таликов в 34 км^2 (20 % площади водосбора [5]), долю подземного питания реки таликовыми водами можно определить в 68 %. Оставшиеся 80 % водосбора, покрытые сосновыми лесами без таликов, лиственнично-березовыми лесами, марями и болотами, дают всего 32 % стока реки, или 10 мм/год.

Испарение и транспирация. Испарение в лесах Центральной Якутии оценивается от 140 до 260 мм/год [7–9]. На марях и в лиственнично-березовых лесах испарение практически равно количеству атмосферных осадков. В сосновых лесах разница между осадками и эвапотранспирацией составляет от 80–100 мм до 130–140 мм.

Речной сток. Слой стока р. Шестаковки за гидрологический год варьируется от 1,5 до 99 мм. Среднемноголетнее значение слоя стока равно 25 мм/год. Коэффициент стока меняется от 1 до 36 %, в среднем составляя 10 %.

Формирование стока р. Шестаковки. По-видимому, различные СФК дают вклад в сток р. Шестаковки в разные сезоны года. При снеготаянии талая вода в сосновых лесах частично испаряется, в основном фильтруется в мерзлые слабольдистые песчаные отложения и не доходит до реки в течение половодья. Талая вода на марях и в лиственнично-березовых лесах, в отличие от хода процесса в сосновых лесах, стекает по поверхности в реку и, по-видимому, образует сток половодья р. Шестаковки. После половодья в течение лета вода СТС лиственнично-березовых лесов и марей расходуется на испарение и транспирацию и не дает вклада в сток реки. В сосновых лесах потери на испарение и транспирацию (102–114 мм) меньше, чем на марях (244 мм) и в лиственничниках (214 мм). Даже в засушливые годы питание зоны аэрации, расходуемое в дальнейшем на подземный и, по-видимому, на речной сток и транспирацию влаги древостоем, превышает величину испарения с поверхности почвы. Водоносный слой появляется в хорошо проницаемых песчаных отложениях на пологих склонах. В случае зарастания склона вся влага расходуется на испарение и транспирацию. Надмерзлотный сток СТС и таликов сосновых лесов преобладает в речном стоке летнего периода (за исключением периода половодья). Это косвенно подтверждается повышенной цветностью и кислотностью воды в реке в периоды половодья, что говорит о значительной роли марей и болот. В течение летнего периода цветность и pH речной воды ближе к таликовым водам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лебедева Л.С., Бажин К.И., Христофоров И.И., Абрамов А.А., Павлова Н.А., Ефремов В.С., Огонеров В.В., Тарбеева А.М., Федоров М.П., Нестерова Н.В., Макарьева О.М.* Надмерзлотные субаэральные талики в бассейне реки Шестаковка (Центральная Якутия) // Криосфера Земли. 2019. № 1. С. 40–50.
2. *Арэ А.Л.* Снежный покров Центральной Якутии, особенности его радиационного и гидротермического режима // Теплообмен в мерзлотных ландшафтах. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1978. С. 30–42.
3. *Бойцов А.В.* Условия формирования и режим подземных вод надмерзлотного и межмерзлотного стока в Центральной Якутии: дисс. … к. г.-м. н. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002. 176 с.
4. *Скрябин П.Н., Варламов С.П., Скачков Ю.Б.* Межгодовая изменчивость теплового режима грунтов района Якутска. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. 144 с.
6. *Лебедева Л.С.* Формирование речного стока в зоне многолетней мерзлоты Восточной Сибири: автореф. дисс. … канд. геогр. наук. Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018. 23 с.
7. *Hamada S., Ohta T., Hiyama T., Kuwada T., Takahashi A., Maximov T.C.* Hydrometeorological behaviour of pine and larch forests in eastern Siberia. Hydrol. Process. 2004. 18. 23–29.
8. *Dolman A.J., Maximov T.C., Moors E.J., Maximov A.P., Elbers J.A., Kononov A.V., Waterloo M.J., van der Molen M.K.* Net ecosystem exchange of carbon dioxide and water of far eastern Siberian Larch (*Larix cajanderii*) on permafrost. Biogeosciences. 2004. 1. 133–146.
9. *Ohta T., Maximov T. Chr., Dolman A.J., Nakai T., van der Molen M.K., Kononov A.V., Maximov A.P., Hiyama T., Iijima Y., Moors E.J., Tanaka H., Toba T., Yabuki H.* Interannual variation of water balance and summer evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest over a 7-year period (1998–2006) // Agric. for. meteorol. 2008. V. 148 (12). P. 1941–1953.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ № 17-05-00926, 17-05-00217, 18-05-70091 и 18-05-60036.

630.1(470)

АККУМУЛЯЦИЯ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ СУКЦЕССИЙ ЛЕСОВ

Н.В. ЛУКИНА[1], А.В. ГОРНОВ[1], Е.В. ТИХОНОВА[1], Н.Е. ШЕВЧЕНКО[1], А.И. КУЗНЕЦОВА[1], Д.Н. ТЕБЕНЬКОВА[1], М.А. ДАНИЛОВА[1], А.П. ГЕРАСЬКИНА[1], В.Э. СМИРНОВ[1], М.В. ГОРНОВА[1], О.Н. БАХМЕТ[2], А.М. КРЫШЕНЬ[2], А.Д. КАТАЕВ[1]

[1] Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия (lukina@cepl.rssi.ru)
[2] Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия (kryshen@krc.karelia.ru)

В данной работе развиваются представления о связях между уровнем аккумуляции углерода в почвах и сукцессионным статусом лесов. Представлены сравнительные оценки уровня аккумуляции почвенного углерода и выноса органического углерода с почвенными водами в зональных смешанных хвойно-широколиственных и таежных равнинных и горных лесах европейской части России. Дана оценка влияния биотических факторов на уровень аккумуляции почвенного углерода.

SOIL CARBON ACCUMULATION AT VARIOUS STAGES OF FOREST SUCCESSIONS

N.V. LUKINA[1], A.V. GORNOV[1], E.V. TIKHONOVA[1], N.E. SHEVCHENKO[1], A.I. KUZNETSOVA[1], D.N. TEBENKOVA[1], M.A. DANILOVA[1], A.P. GERASKINA[1], V.E. SMIRNOV[1], M.V. GORNOVA[1], O.N. BAKHMET[2], A.M. KRYSHEN[2], A.D. KATAEV[1]

[1] Center for Forest Ecology and Productivity RAS, Moscow, Russia (lukina@cepl.rssi.ru)
[2] Forest Institute KarSC RAS, Petrozavodsk, Russia (kryshen@krc.karelia.ru)

This work develops concept about the relationship between soil carbon accumulation and the succession stages of forests. Comparative estimates of the level of soil carbon accumulation and leaching of organic carbon with soil waters in zonal mixed coniferous-broadleaved and boreal plain and mountain forests in the European part of Russia are presented. An assessment of the influence of biotic factors on the level of soil carbon accumulation is given.

Леса – самые распространенные наземные экосистемы, играющие ключевую роль в регулировании циклов углерода. При этом вклад почвенного углерода по разным оценкам варьирует от 60 до 85 % от общего запаса углерода в бореальных и умеренных лесах. Анализ современных зарубежных и отечественных работ позволяет заключить, что большие неопределенности в оценках циклов углерода в лесах связаны: а) с оценкой сукцессионного статуса лесов; (б) с недостатком современных экспериментальных оценок запасов углерода в почвах (особенно на глубинах более 0,3 м) лесов разных типов/стадий сукцессий; в) с недостатком сравнительных оценок размеров выноса растворенного органического углерода с почвенными водами в лесах разных типов/стадий сукцессий, формирующихся в различных природно-климатических условиях.

Цели исследований: (1) провести с учетом сукцессионного статуса лесов сравнительные оценки уровня аккумуляции почвенного углерода в смешанных хвойно-широколиственных равнинных (центр Русской равнины) и горных лесах (Северо-Западный Кавказ) и в равнинных (Республика Карелия, Карельский перешеек) и горных (Хибины) таежных лесах северо-запада России; (2) дать сравнительные оценки выноса органического углерода с почвенными водами в северотаежных (Мурманская область) и смешанных хвойно-широколиственных (Брянская область) лесах в сравнении с данными, полученными в результате других исследований по сходной методике в среднетаежных лесах (Республика Карелия) и хвойно-широколиственных лесах (Московская область). При этом учитывалось влияние различных факторов,

включая климатические условия, гранулометрический состав почвообразующих пород, видовое разнообразие растений, формационный состав лесов, возраст древостоя, биомассу функциональных групп макросапротрофов – дождевых червей, и вклад в состав лесных сообществ доминирующих видов растений, отличающихся качеством опада (быстро- и медленноразлагаемый опад), на уровень аккумуляции почвенного углерода в хвойно-широколиственных и таежных лесах, формирующихся в автономных позициях ландшафтов (лесов так называемых зональных типов).

Объектами оценки уровня аккумуляции почвенного углерода на разных стадиях послерубочных и послепожарных восстановительных сукцессий лесов являются равнинные и горные хвойно-широколиственные леса европейской части России. Равнинные хвойно-широколиственные леса исследовали в Брянском полесье и на Москворецко-Окской равнине, горные – на Северо-Западном Кавказе. Для оценки запасов почвенного углерода в таежных лесах выбраны объекты на северо-западе России – равнинные леса в Республике Карелия и на Карельском перешейке (Ленинградская область) и горные леса в Мурманской области (Хибины).

Согласно результатам проведенных нами исследований, в лесах европейской части России, формирующихся в автономных позициях ландшафтов (так называемые зональные типы), общие запасы почвенного углерода значительно варьируют на разных стадиях восстановительных сукцессий хвойно-широколиственных и таежных лесов: от 39 до 50 т/га в равнинных, от 60 до 75 т/га в горных хвойно-широколиственных лесах и от 87 до 137 т/га в равнинных таежных лесах с учетом подстилки и минерального слоя 0–50 см. Суммарный уровень аккумуляции углерода в подстилке и минеральном слое 0–20 см северотаежных горных лесов (Хибинский горный массив) может достигать 180 и 300 т/га в еловых и березовых лесах соответственно, что значительно выше, чем в равнинных северотаежных, равнинных и горных хвойно-широколиственных лесах с подстилкой и слоем 0–50 см. Однако запасы почвенного углерода в северотаежных горных лесах существенно варьировали, что связано как с абиотическими процессами (склоновые процессы в горах), так и с биотическими (разные микрогруппировки) факторами.

Пул почвенного углерода существенно изменяется в зависимости от сукцессионного статуса лесов. Использование популяционного подхода позволило выявить характерные особенности восстановительных послерубочных сукцессий хвойно-широколиственных равнинных и горных лесов европейской части России. Восстановительная послерубочная сукцессия хвойно-широколиственных лесов европейской части России реализуется в разных вариантах: в центре Русской равнины на поздних стадиях сукцессии формируются полидоминантные многовидовые сообщества с более сложной эколого-ценотической структурой по сравнению с ранней и переходной стадиями, тогда как в старовозрастных лесах Северо-Западного Кавказа на терминальной стадии формируются маловидовые олигодоминантные пихто-буковые сообщества с упрощенной эколого-ценотической структурой по сравнению с сообществами ранней и переходной стадий. На поздних стадиях сукцессии в хвойно-широколиственных лесах центра Русской равнины в связи с образованием окон и ветровально-почвенных комплексов формируется сложная парцеллярная структура, тогда как в старовозрастных хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа на участках с выровненным рельефом оконная динамика развита слабо, что связано со слабым влиянием экзогенных факторов, таких как сели, лавины, камнепады и осыпи, которые выступают главными драйверами оконной динамики лесной растительности на склонах. В результате здесь формируются олигодоминантные пихто-буковые сообщества, в которых возраст деревьев пихты может превышать 450 лет, а бука – достигать более чем 300 лет.

Сравнение запасов почвенного углерода на объектах, представляющих хвойно-широколиственные леса, демонстрирует, что в слое LFH-100 см больше всего углерода аккумулировано в суглинках горных лесов Северо-Западного Кавказа – 89 т/га, тогда как в суглинистых почвах Московско-Окской равнины запасы углерода в среднем составляли 65 т/га, а в песчаных почвах Брянского полесья – 57 т/га. При этом самые высокие запасы углерода в подстилке демонстрируют песчаные почвы Брянского полесья. Смена доминирующих видов деревьев, растений нижних ярусов, динамика почвообразовательных комплексов дождевых червей и эколого-ценотической структуры сообществ хвойно-широколиственных лесов в ходе послерубочных сукцессий влияют на запасы почвенного углерода. В ходе послерубочных сукцессий запасы углерода возрастали от 60 т/га на ранней до 65 т/га на поздней стадии сукцессии в песчаных почвах Брянского Полесья и от 61 т/га на ранней до 67 т/га на поздней стадии сукцессий в суглинистых почвах Москворецко-Окской равнины с учетом подстилки и фиксированного минерального слоя 0–100 см. В суглинистых почвах Северо-Западного Кавказа запасы почвенного углерода на поздней стадии, напротив, существенно снижались по сравнению с ранней и промежуточной стадиями: от 95 и 94 т/га до 77 т/га соответственно.

Анализ влияния различных биотических факторов с использованием моделей множественной регрессии показал, что запасы углерода в подстилках хвойно-широколиственных лесов положительно связаны с возрастом древостоя и долей хвойных деревьев в запасах общей стволовой древесины и отрицательно связаны с биомассой дождевых червей. Увеличение биомассы червей приводит к снижению запасов углерода в подстилке из-за возрастания скорости разложения опада растений. Различия в динамике комплекса сапрофагов между объектами в равнинных и горных хвойно-широколиственных лесах обусловлены гранулометрическим составом почв, тогда как на каждом объекте они связаны с сукцессией растительности и изменением качества опада. Наименее благоприятные условия для почвенных сапрофагов, в том числе и для группы дождевых червей, сложились в легких песчаных почвах Брянского Полесья, где в ходе сукцессии комплекс люмбрицид проходит только ранние этапы формирования. В суглинистых почвах лесов Москворецко-Окской равнины и Северо-Западного Кавказа происходит формирование полноценного почвообразовательного комплекса дождевых червей в ходе сукцессии.

Возрастание доли хвойных деревьев, продуцирующих опад низкого качества, способствует снижению скорости разложения опада и увеличению запасов углерода в подстилке. При этом выявлена достоверная положительная зависимость уровня накопления углерода в подстилке от доли деревьев с медленноразлагаемым опадом, которая объясняется низкой скоростью минерализации опада. Положительная связь возраста деревьев и запасов углерода в подстилке связана с тем, что с возрастом древостоя увеличивается продуктивность и количество опада и, соответственно, массы подстилки, что определяет увеличение запасов органического углерода в ней.

Регрессионный анализ показал, что запасы углерода в минеральных горизонтах почв хвойно-широколиственных лесов положительно связаны с тремя предикторами: отношение C/N в подстилке, проективное покрытие яруса А (верхний полог древесных растений) и видовая насыщенность растений. Проективное покрытие яруса А отражает количество древесного опада, являющегося источником органического углерода. Возрастание запасов углерода в минеральных горизонтах с увеличением видовой насыщенности свидетельствует о том, что в составе сообществ растет число видов, продуцирующих быстроразлагаемый опад и способствующих разложению медленноразлагаемого опада. Это приводит к активной миграции органического углерода из опада и подстилки в минеральные горизонты почв. Положительная связь

запасов углерода с отношением C/N объясняется тем, что при возрастании продуктивности древесного яруса и видового разнообразия растений увеличивается потребность растений в азоте, который активно поглощается ими из подстилки. Поэтому в присутствии этих двух предикторов, объясняющих основную часть дисперсии, отношение C/N в подстилке положительно связано с запасами углерода в минеральном слое.

Таким образом, на основе проведенных исследований установлено влияние на уровень аккумуляции углерода в почвах хвойно-широколиственных лесов биотических факторов, которые изменяются в ходе сукцессий лесов: видовое разнообразие растений, возраст древостоя, вклад в состав лесных сообществ доминирующих видов растений, отличающихся качеством опада (быстро- и медленноразлагаемый опад), вклад различных функциональных групп макросапрофагов – дождевых червей.

Анализ влияния различных факторов на аккумуляцию почвенного углерода в таежных лесах с использованием моделей множественной регрессии показал, что запасы углерода в подстилках таежных лесов Северо-Запада России положительно связаны с отношением C/N и отрицательно – с видовой насыщенностью растительности. Более широкое отношение C/N в подстилке свидетельствует о низкой скорости ее разложения и, соответственно, о накоплении массы подстилки, что приводит к увеличению запасов органического углерода подстилки. Увеличение видовой насыщенности растительности за счет травянистых растений в средней тайге по сравнению с северной может приводить к снижению запасов углерода в подстилках из-за возрастания скорости разложения опада. Значительная часть вариации запасов углерода в подстилках объясняется содержанием глинистой фракции в почвообразующих породах, которое ниже на Карельском перешейке, где запасы углерода в подстилках вдвое меньше, чем в почвах Карелии, из-за небольшой массы подстилки. Это обусловлено влиянием сельскохозяйственной практики на части лесных земель в прошлом и большой видовой насыщенностью трав, продуцирующих быстроразлагаемый опад. Запасы углерода в минеральном слое 0–50 см отрицательно связаны с отношением C/N в подстилках и положительно связаны с содержанием полуторных оксидов (показано на примере марганца) в иллювиальных горизонтах почв: чем меньше отношение C/N в подстилке, тем выше скорость ее разложения, что приводит к активной миграции органического углерода в иллювиальные горизонты, где углерод фиксируется полуторными оксидами. Обнаружена достоверная положительная зависимость уровня накопления углерода в иллювиальных горизонтах почв от видовой насыщенности растений в еловых лесах, которая объясняется более активной миграцией углерода из подстилки, куда поступает быстроразлагаемый опад травянистых растений, и его фиксацией в иллювиальных горизонтах. Среднетаежные леса Карелии отличаются высоким уровнем аккумуляции почвенного углерода, составляющего 137 т/га с учетом подстилки и минерального слоя мощностью 50 см, тогда как запасы углерода в почвах северотаежных лесов Карелии и среднетаежных лесов Карельского перешейка оказались ниже и составляли в среднем 87 и 113 т/га соответственно. Невысокий уровень аккумуляции углерода в почвах лесов Карельского перешейка, несмотря на его значительные запасы в A/E горизонтах, обусловленные сельскохозяйственным использованием части лесных земель в прошлом, объясняется низкими запасами подстилки и невысокой мощностью иллювиальных горизонтов почв. Небольшие по сравнению со среднетаежными лесами запасы почвенного углерода в северотаежных лесах связаны с доминированием сосновых лесов, которые характеризуются невысокими запасами углерода по сравнению с еловыми и березовыми лесами: 100 т/га против 125 и 138 т/га соответственно с учетом подстилки и минерального слоя 0–50 см. Обнаружена связь между группами возраста древостоев

и запасами почвенного углерода в еловых и сосновых лесах. Еловые молодняки отличаются от приспевающих и спелых лесов низкими запасами почвенного углерода: 83 т/га против 176 и 135 т/га соответственно с учетом подстилки и минерального слоя 0–50 см. В сосновых лесах, напротив, запасы почвенного углерода в молодняках существенно выше: 107 т/га против 81 и 86 т/га в приспевающих и спелых лесах соответственно. Эти тенденции объясняются формированием сосновых молодняков после рубки в еловых лесах либо формированием молодняков, отличающихся высокой продуктивностью и, соответственно, большой массой опада из-за высокой густоты древостоя после рубки в спелых сосняках.

Таким образом, установлено влияние биотических факторов, таких как формация леса, возраст древостоя, отношение C/N в подстилке, видовая насыщенность растений на уровень аккумуляции углерода в почвах таежных лесов.

При сравнении размеров выноса органического углерода с почвенными водами в равнинных северотаежных хвойных и хвойно-широколиственных лесах выявляются существенные различия: вынос значительно выше в северотаежных лесах. Эти различия объясняются (1) разной интенсивностью перехвата осадков и дальнейшим испарением, (2) уровнем транспирации хвойных и широколиственных древесных растений. Важное значение имеет возраст древостоев и сомкнутость крон. Северотаежные хвойные леса Мурманской области являются старовозрастными, но редкостойными. Перехват осадков в таких лесах существенно меньше, чем в хвойно-широколиственных лесах с высокой сомкнутостью полога.

Проведенные исследования важны для развития представлений о факторах и механизмах динамики углерода, совершенствования методов оценки почвенного углерода в лесах и устойчивого управления лесами в условиях глобальных изменений.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-10284).

УДК 630*116.25:556.114.6 (571.63)

ДИНАМИКА ВЫНОСА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ГОРНО-ЛЕСНЫХ БАССЕЙНАХ ЮЖНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ)

Т.Н. ЛУЦЕНКО[1], А.Г. БОЛДЕСКУЛ[1], Н.К. КОЖЕВНИКОВА[2], В.В. ШАМОВ[1], Т.С. ГУБАРЕВА[3], С.Ю. ЛУПАКОВ[1]

[1] Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия (luts@tigdvo.ru)
[2] Федеральный научный центр биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия
[3] Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

Исследованиями 2014–2017 гг. в малых бассейнах юга Сихотэ-Алиня установлено, что концентрации растворенного органического углерода (РОУ) в ручьях варьируют от 2,3 до 11,4 мг/л. Индексы УФ- и спектров флуоресценции ($SUVA_{254}$, A_{350}, E_2/E_3, S_R, BIX, FI) позволили оценить ручьи по качеству РОУ. Поток РОУ в периоды низкой и умеренной водности изменяется от 5 до 55 мг/с*км^2, на пике паводка (тайфун Лайонрок) достигает 4390 мг/с*км^2.

DISSOLVED ORGANIC CARBON EXPORT DYNAMICS IN MOUNTAIN-FOREST WATERSHEDS OF SOUTHERN SIKHOTE ALINE

LUTSENKO T.N.[1], BOLDESKUL A.G.[2], KOZHEVNIKOVA N.K.[3], SHAMOV V.V.[1], GUBAREVA T.S.[3], S.Yu. LUPAKOV[1]

[1] Pacific Institute of Geography, FEBRAS, Vladivostok, Russia (luts@tigdvo.ru)
[2] Federal scientific Center of biota biodiversity of the North-east Asia, FEBRAS, Vladivostok, Russia
[3] Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia

During warm season of 2014–2017 it was established that the concentration of dissolved organic carbon (DOC) in streams varies from 2,3 to 11,4 mg /l in small basins of the south of Sikhote-Alin. The UV-Vis and fluorescence spectra indices ($SUVA_{254}$, A_{350}, E_2 / E_3, S_R, BIX, FI) made it possible to evaluate the streams by the DOC quality. The DOC fluxes at the time of low water periods varies from 5 to 55 mg / s * km^2, and it reaches 4390 mg / s * km^2 at the peak of the flood (typhoon Lionrock, August 2016).

В условиях современных колебаний климата и усиления циклонической активности в Северо-Восточной Азии биогеохимия форм нахождения углерода является актуальной проблемой. Проведенные ранее исследования показали, что концентрации РОУ в умеренной климатической зоне на 60–80 % определяются расходами воды. Предполагается, что минеральные горизонты почв могут сорбировать РОУ и в значительной степени определять его качественный и количественный состав [3]. Поэтому изучение влияния специфики ландшафтов на динамику РОУ остается достаточно важной задачей.

Характерной особенностью ландшафтов Сихотэ-Алиня является сложность горного рельефа, вариабельность возраста и состава подстилающих пород, мозаичность почв и растительности, контрастность гидротермических параметров. Территория Верхне-Уссурийского стационара (ВУС) Федерального центра биоразнообразия ДВО РАН, который расположен в бассейне р. Правая Соколовка, входящей в систему верховий р. Уссури, – достаточно типичный участок региона. Цель работы: 1) сопоставить концентрации и качественный состав РОУ вод трех отличающихся по компонентам ландшафтов горно-лесных бассейнов (диапазон абс. выс. 500–1000 м), 2) дать сравнительную оценку выноса РОУ в периоды разной водности.

Климат района формируется под влиянием восточноазиатского муссона умеренных широт и в целом характеризуется как влажный умеренно холодный. За год выпадает в среднем 500–700 мм осадков, более 80 % из них – с апреля по октябрь.

Объект изучения – химический состав воды притоков р. Правая Соколовка, ручьев I–III порядка: Елового (площадь водосбора, F, 0,77км^2), Березового (F=3,1 км^2),

Медвежьего (F=7,7 км^2) [2]. Бассейны ручьев находятся на расстоянии нескольких километров друг от друга, но различаются по составу подстилающих пород мелового, триасового и юрского возраста соответственно. Породы бассейна ручья Елового относятся к Приморской риолитовой серии с содержанием кремнезема до 80 %, в них установлено наличие риодацитов, андезитов, аргиллитов. В комплексе пород водосбора ручья Березового присутствуют туфы среднего и кислого состава, лавы базальтов, андезитобазальтов, андезитов, дацитов. В породах бассейна ручья Медвежьего доля кремнезема не выше 58 %, в них присутствуют базальты, андезиты, андезитобазальты, туфы риолитов, алевролиты, аргиллиты, линзы известняков [1].

Водосборы ручьев отличаются по типам леса: пихтово-елового (Еловый), хвойно-лиственного (Березовый), кедрово-широколиственного (Медвежий). Более 50 лет назад все водосборы были подвергнуты выборочным рубкам, коренные кедрово-широколиственные леса сохранились в истоках и на крутых склонах.

Почвы территории – буроземы разной степени оподзоленности в зависимости от позиции в ландшафте. Исследуемые ручьи имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав воды, но отличаются по минерализации: руч. Еловый характеризуется более низкой минерализацией (20–30 мг/л), в отличие от руч. Березового (30–40 мг/л) и Медвежьего (70–120 мг/л). Воды различаются по pH, средние величины в ряду Еловый–Березовый–Медвежий составили 6,3, 6,8 и 7,4 соответственно.

В полевые сезоны 2014–2015 гг. наблюдения проводили на руч. Еловый и Медвежий; в 2016 году – на руч. Березовый и Медвежий, в 2017 – на всех трех ручьях. Пробы отбирали на гидрохимических створах одновременно с измерением расхода воды. В день отбора определяли pH и содержание гидрокарбонат-иона, проводили фильтрацию (0,45 мкм). В лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН выполняли анализ макросостава вод стандартными гидрохимическими методами. Химическую природу РОУ изучали методами УФ-видимой и эмиссионной флуоресцентной спектроскопии

Теплые сезоны 2014–2017 гг. резко отличались по характеру увлажнения. В 2014 году бассейны были хорошо увлажнены, следующий 2015 оказался жарким и засушливым. Благодаря прохождению тайфуна Лайонрок в августе – сентябре, 2016 г. был очень многоводным, а следующий 2017 г. – маловодным (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика выноса РОУ, HCO_3^- и Si ручьями ВУС в августе 2014–2017 гг.

Год (дата)	Ручьи	Модуль стока, л/с*км^2	Поток РОУ, мг/с*км^2	Поток HCO_3^-, мг/с*км^2	Поток Si, мг/с*км^2	$C_{РОУ}/HCO_3^-$	$C_{РОУ}$/Si
2014	Еловый	16,6	55,1	30,4	98,8	1,81	0,56
2014	Медвежий	10,0	44,6	477,0	59,7	0,09	0,75
2015	Еловый	3,5	10,2	19,5	26,3	0,52	0,39
2015	Медвежий	4,8	16,7	332,3	31,5	0,05	0,53
31.08.2016	Березовый	409,6	4390,3	4342,2	2197,3	1,01	2,00
31.08.2016	Медвежий	410,3	4267,0	10 504,0	2507,0	0,41	1,70
2017	Еловый	2,3	9,5	23,4	16,3	0,41	0,58
2017	Березовый	4,3	12,9	76,0	25,2	0,17	0,51
2017	Медвежий	1,8	6,0	100,5	12,6	0,06	0,48

Наблюдения показали, что бассейны руч. Елового и Березового в основном характеризовались более высокой водностью по сравнению с руч. Медвежьим. Бассейн руч. Медвежьего с широкой разработанной долиной, ориентированной на юг, всегда суше и теплее, об этом косвенно свидетельствуют более высокие средние температуры воды. Ручьи Еловый и Березовый, дренирующие левый борт р. Пр. Соколовки, имеют более высокие отметки водосборов и ориентированы на северо-запад. Бассейн руч.

Елового, узкий, глубоко врезанный и крутосклонный, с высокой долей хвойных, – самый холодный и влажный. Концентрации РОУ в ручьях изменялись в широком интервале от 2,3 до 11,4 мг/л. Максимальные концентрации были характерны для руч. Медвежьего и Березового, самые низкие – для вод руч. Елового.

Динамика индексов спектров поглощения ($SUVA_{254}$, A_{350}, E_2/E_3, S_R) показала, что РОУ руч. Березового отличается более высокими степенью конденсации углерода и относительным молекулярным весом хромофорных компонентов по сравнению с РОУ руч. Медвежьего и Елового.

Параметры спектров флуоресценции (BIX, FI) позволили выявить соотношение вкладов в структуру макромолекул РОУ аллохтонных (почвенных, более ароматических) и автохтонных (микробиальных) источников РОУ. Установлено, что РОУ руч. Березового отличается наибольшей амплитудой изменчивости этих двух источников; возможно, это связано с более высокой микробиологической активностью почв, обусловленной высокой зольностью опада березы и осины.

Исследованиями 2014–2017 гг. установлено, что в годы без аномально высоких летних паводков модули стока ручьев не превышают пределов 2–20 л/с*км^2 (табл. 1). В такие годы весеннее половодье было главным гидрологическим событием теплого сезона и ему соответствовали потоки РОУ порядка 5–55 мг/с*км^2 (на спаде половодья).

Согласно наблюдениям на ближайшей метеостанции Чугуевка, 25–26 августа 2016 г. южный циклон принес 75 мм осадков, а следом подошедший 30–31 августа тайфун Лайонрок вызвал дожди, суммарный слой которых составил 44 мм. За неделю – с 25 по 31 августа – выпало 119 мм осадков, что превышает средний многолетний слой за август (112 мм) по данным указанной метеостанции для периода с 1949 по 2017 г.

Модули стока воды на пике паводка (31.08.2016) для руч. Березового и Медвежьего составили практически одну и ту же величину 410 л/с*км^2, и поток РОУ достиг 4390 и 4267 мг/с*км^2. Очевидно, в условиях экстремальной водности различия в выносе РОУ сглаживаются, поскольку время реакций взаимодействия воды с почвами, поверхностью минералов минимально, и РОУ, мобилизованный из органогенных горизонтов, транзитом выносится в ручьи.

Концентрации кремния и гидрокарбонат-иона являются маркерами процессов современного выветривания. Для вод каждого бассейна характерен свой тип соотношения РОУ и литофильных элементов, определяемый составом пород, производных почв и типом биокруговорота.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Государственная* геологическая карта РФ масштаба 1:1000000. С.-Петербург, 2006.
2. *Кожевникова Н.К., Луценко Т.Н., Болдескул А.Г., Лупаков С.Ю., Шамов В.В.* Водная миграция макроэлементов в хвойно-широколиственных лесах Сихотэ-Алиня // Сиб. лесной журн. 2017. 3. С. 60–73.
3. *David M.B., Vance G.F., Kahl J.S.* Chemistry of dissolved organic carbon and organic acids in two streams draining forested watershed // Water Res. Research. 1992. 2 (28): 189–396.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (16-05-00182 А, 16-05-00541 А).

УДК 59.087

ИЗУЧЕНИЕ ЛЕСНЫХ КАРАНТИННЫХ ВИДОВ НАСЕКОМЫХ С ПОМОЩЬЮ ФЕРОМОННЫХ ЛОВУШЕК В ООПТ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

С.Н. ЛЯБЗИНА[1,2], А.А. ЧАЛКИН[1], О.В. СИНКЕВИЧ[1]

[1] Карельский филиал ФГБУ «ВНИИКР», Петрозаводск, Россия (chalkin10@yandex.ru)
[2] Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия (slyabzina@petrsu.ru)

В работе приводятся данные по изучению карантинных видов насекомых (черных усачей рода *Monochamus*, сибирского шелкопряда и азиатского подвида непарного шелкопряда) с помощью феромонных ловушек на территории Республики Карелия.

DANGEROUS FOREST INSECTS INVESTIGATION BY MEANS OF PHEROMONE TRAPS IN A RESERVED TERRITORIES OF KARELIA REPUBLIC

S.N. LIABZINA[1, 2], A.A. CHALKIN[1], O.V. SINKEVICH[1]

[1] Karelia department FGBU «VNIIKR», Petrozavodsk, Russia (chalkin10@yandex.ru)
[2] Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia (slyabzina@petrsu.ru)

The results of some dangerous insect pests (beetles of genus *Monochamus*, Asian gypsy moth and Siberian silk moth) monitoring using pheromone traps in the territory of the Republic Karelia are presented. Beetles *Monochamus sutor* and *M. urussovi* were caught in barrier-funnel traps.

Феромоны – это биологически активные вещества, вырабатываемые животными для передачи информации особям своего вида, вызывающие у воспринимающих организмов специфические поведенческие или физиологические реакции. В настоящее время химическое строение феромонов изучено для многих видов [2]. В научно-практических целях феромонные ловушки используют для выявления видового состава, установления плотности особей на изучаемой территории или в качестве меры борьбы с вредителями для отлова части популяции.

Особо охраняемые природные территории являются уязвимыми местами, где могут локализоваться вредители, в том числе карантинные виды. В целях предотвращения распространения очага необходимо проводить плановые обследования для установления границ карантинной фитосанитарной зоны. Исследованием была охвачена большая часть особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Республики Карелия: национальные парки (Водлозерский и Паанаярви), заповедник «Костомукшский», ботанические сады (Петрозаводского государственного университета, Спасо-Преображенского Валаамского и Соловецкого монастырей).

В работе использовались феромонные ловушки для сбора насекомых: жесткокрылых – черных усачей рода *Monochamus* и чешуекрылых – азиатского подвида непарного шелкопряда и сибирского шелкопряда (*Lymantria dispar asiatica* Vnukovski и *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov) (рис. 1). Эти виды являются карантинными для РФ, и контроль над их численностью в лесной зоне нужно осуществлять регулярно. По мнению исследователей, применение феромонов более эффективно в сравнении с ручным сбором насекомых. Так, в экспериментальных исследованиях И.О. Камаевым и Н.Г. Тодоровым [5] показана целесообразность применения феромониторинга для прогноза численности популяции каштановой моли (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimic).

Исследования проводили в течение двух лет (2017 и 2018 г). Для сбора энтомологического материала использовали феромонные ловушки – барьерно-ворончатую для отлова жесткокрылых и дельтовидную для чешуекрылых. Барьерно-ворончатая ловушка изготовлена из пластика и состоит из воронки диаметром около 30 см со съемным накопителем для насекомых объемом 500 мл, на дне которого имеются

отверстия для слива дождевой воды, и экрана из крестообразно расположенных пластин размером 30×45 см каждая (рис. 1). В барьерно-ворончатых ловушках аттрактантами для жуков служат вещества, выделяемые поврежденным хвойным деревом (альфа-пинен), а также компоненты агрегационного феромона короедов (например, ипсенол). В 2013 году эти компоненты – монохамол и кайромоны – были синтезированы специалистами отдела синтеза и применения феромонов ФГБУ «ВНИИКР» [4].

Дельтовидная ловушка состоит из картонного домика треугольной формы, сделанного из водостойкого материала, с внутренним клейким вкладышем и диспансером, пропитанным феромоном. Ловушки размещали на открытых участках леса на высоте 1,5–2 м от поверхности почвы.

На территории ООПТ с помощью барьерно-ворончатых ловушек отловлено два вида усачей – черный еловый малый (*Monochamus sutor*) и черный еловый большой (*M. urussovi*) из четырех видов, обитающих на территории Карелии. Представители рода *Monochamus* опасны тем, что являются потенциальными переносчиками фитогельминтов [1]: *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner, Buhrer, 1934) Nickle, 1970 – сосновой стволовой нематоды и *B. mucronatus* (Mamaij, Enda, 1979) – древесной сосновой нематоды, которые могут привести к массовым поражениям лесных угодий [6]. Вид *B. xylophilus* входит в список А1 ЕАЭС (Евразийского экономического союза) как особо опасный карантинный организм, отсутствующий на территории страны.

На территории Республики Карелия специалистами Испытательной лаборатории Карельского филиала ФГБУ «ВНИИКР» неоднократно выявлялся близкородственный карантинному вид *B. Mucronatus*; также имелся случай его обнаружения в упаковочной таре из Китая [3].



Рис. 1. Дельтовидная и барьерно-ворончатая ловушки, установленные в НП «Паанаярви»

Дельтовидные ловушки с феромонами на шелкопрядов не сработали, что подтверждает отсутствие данных видов на территории республики. При этом они были заполнены различными представителями членистоногих (паукообразными и насекомыми).

На исследуемых участках с помощью феромонных ловушек не удалось установить видовое разнообразие усачей рода *Monochamus*, видимо, из-за слабой аттрактивности приманок для жуков. Кроме того, в результате биоиспытаний выявлено, что используемые аттрактанты и монохамол слабопривлекательны, например, для малого елового усача (*M. sutor*) [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ахматович Н.А., Котлярская О.Б.* Черные хвойные усачи – потенциальные переносчики патогенных древесных нематод // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009. № 187. С. 26–32.
2. *Гричанов И.Я., Овсянникова Е.И.* Феромоны для фитосанитарного мониторинга вредных чешуекрылых насекомых. Пушкин: ВИЗР РАСХН, 2005. 244 с.
3. *Зинников Д.Ф, Морозов Д.Н, Кухарева А.В.* Экспертиза на выявление древесных нематод в Республике Карелия // Защита и карантин растений. 2010. № 6. С. 46–47.
4. *Камаев И.О., Пономарев В.Л., Тодоров Н.Г., Федосеев Н.З., Глот Е.Ф.* Синтетический феромон для черных хвойных усачей рода *Monochamus* // Карантин растений. Наука и практика. 2013. № 4. С. 10.
5. *Камаев И.О., Тодоров Н.Г.* Исследование эффективности синтетического феромона и феромонных ловушек для каштановой моли (*Cameraria ohridella* deschka et dimic, 1986) в Московской области // Защита и карантин растений. 2014. № 1 (7). С. 52–55.
6. *Кулинич О.А, Козырева Н.И., Арбузова Е.Н.* Сосновая стволовая нематода как угроза хвойным насаждениям России // Лесохозяйственная информация. 2017. № 3 (4). С. 50–66.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы признательны сотрудникам национальных парков и ботанических садов за возможность осуществления исследований и студентам Петрозаводского госуниверситета за помощь в контроле численности насекомых.

УДК 581.13:630*187:551.34

МЕРЗЛОТНЫЕ ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ

Т.Х. МАКСИМОВ[1, 2], А.Й. ДОЛМАН[3], Т.ОТА[4], А.СУГИМОТО[5], А.П. МАКСИМОВ[1], Р.Е. ПЕТРОВ[1]

[1] Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия (tcmax@mail.ru)
[2] Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия (tcmax@mail.ru)
[3] Свободный университет Амстердама, Нидерланды
[4] Университет Нагоя, Япония
[5] Университет Хоккайдо, Япония

Представлены результаты многолетних исследований по изучению основных компонентов углеродного и водного циклов мерзлотных репрезентативных лесных экосистем на северо-востоке России. Годовой сток углерода в лиственничных лесах Южной Якутии составляет 2,43±0,23 т С га$^{-1}$ год$^{-1}$, а в Центральной Якутии – 2,12±0,34 т С га$^{-1}$ год$^{-1}$. По результатам исследований нами составлены схематические модели годового бюджета углерода и воды в мерзлотных лесных экосистемах, которые могут быть использованы в качестве фактического материала для верификации и оценки углеродного пула России и разработки адекватных моделей регионального и глобального баланса углерода и воды в растительных сообществах.

PERMAFROST FOREST ECOSYSTEMS OF THE NORTH-EAST OF RUSSIA IN A CHANGING CLIMATE

T.C. MAXIMOV[1, 2], A.J. DOLMAN[3], T. OTA[4], A. SUGIMOTO[5], A.P. MAKSIMOV[1], R.E. PETROV[1]

[1] Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia (tcmax@mail.ru)
[2] M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia (tcmax@mail.ru)
[3] Free University of Amsterdam, the Netherlands
[4] Nagoya University, Japan
[5] Hokkaido University, Japan

The results of long-term studies of the main components of carbon and water cycles of permafrost representative forest ecosystems in the North-East of Russia are presented. Annual carbon flux in the larch forests of southern Yakutia is 2,43±0,23 t ha^{-1} year^{-1}, and in Central Yakutia – 2,12±0,34 t ha^{-1} year^{-1}. Based on the research results, we have compiled schematic models of the annual budget of carbon and water in permafrost forest ecosystems, which can be used as the actual material for the verification and assessment of the carbon pool in Russia and for the development of adequate models of regional and global balance of carbon and water in plant communities.

Северо-восток России с ее обширными таежными, горно-лесными и тундровыми экосистемами представляет собой громадный резервуар органического материала, накопленного в течение столетий, а повсеместно распространенная, близко залегающая к поверхности земли высокольдистая мерзлота является консервантом парниковых газов прошлых эпох, аккумулированных тысячелетиями. По нашим подсчетам, запасы связанного углерода в почвах лесных экосистемах на этой территории составляют 17133 млн т, примерно 1/4 часть общего запаса углерода в почвах лесорастительных регионов России.

Многолетние исследования проводились с 2000 по 2017 г. в Центральной Якутии (62° с. ш., 129° в. д.) и в Южной Якутии (60° с. ш., 133 в. д.) в средне- и высокопродуктивных лиственничных лесах соответственно. Для общего анализа чистого углекислотного газообмена экосистем (NEE) нами использованы автоматические системы эдди-корреляции как закрытого, так и открытого типов (частота измерений 30Гц), установленные на разных высотах от 3 до 34 метров. Фотосинтетическую и дыхательную способность растений определяли общепринятыми методами с помощью инфракрасных газоанализаторов KIP-9010, Japan, ADC-Shimadzu,

UK и Li-Cor LI-6400, USA. Почвенное дыхание измерено с помощью двух систем – автоматической системы почвенного дыхания с четырьмя затемненными камерами с интервалом 15 минут (PP system, UK) и ручными газоанализаторами EGM-4 (PP system, UK). Поток биогенных летучих органических соединений (БЛОС) измерен системой эдди-ковариации с масс-спектрометром PTR-MS (Ionicon, Austria).

Основной стратегией растений криолитозоны является выживание и воспроизводство семян даже в ущерб высокой продуктивности. В условиях таежной зоны Центральной и Южной Якутии древесные растения имеют сравнительно небольшую биомассу фотосинтезирующих органов. Так, масса хвои лиственницы в Центральной Якутии (1,68 т га$^{-1}$) в 1,5 раза ниже, чем в регионах с влажным климатом. Небольшая биомасса хвои при низком листовом ассимилирующем индексе (до 2,0) и укороченный период фотосинтетической деятельности обусловили пониженную чистую первичную продуктивность (NPP = 3,1±0,3 т га$^{-1}$ год$^{-1}$) основной лесообразующей породы Центральной Якутии – лиственницы.

Рост и развитие древесных растений на северо-востоке России за короткий вегетационный период обеспечиваются высокими уровнями физиологических процессов (фотосинтеза и транспирации) при сравнительно низких темновых и ночных дыхательных затратах на рост и поддержание. Большая межгодовая вариабельность процесса фотосинтеза и темного дыхания у растений *Larix cajanderi* свидетельствует о прекрасной их приспособленности к своеобразным климатическим условиям криолитозоны.

Наши многолетние наблюдения показали, что в течение короткого, но теплого вегетационного периода (конец мая – конец первой декады сентября) мерзлотные лесные экосистемы являются стоком углекислого газа с максимальной поглотительной способностью до 6,1 кг С га$^{-1}$ сут $^{-1}$.

Главенствующим фактором повышения продуктивности лесов криолитозоны при потеплении климата будет направленность педотурбационных процессов, напрямую воздействующих на круговорот основных органогенов в экосистеме. Продукционный процесс якутских популяций деревьев в условиях потепления климата будет в основном лимитирован эндогенными факторами – устьичной проводимостью, а также экзогенными – обеспеченностью растений влагой и минеральными органогенами, особенно азотом.

Главным фактором, влияющим на интенсивность дыхания почв лиственничных лесов северо-востока России, является температура почвы. Средняя интенсивность почвенного дыхания в течение вегетационного периода растений доходит до 6,9 кг С га$^{-1}$ сут$^{-1}$, что характерно для лесов всей Сибири, но в три раза ниже значений, приводимых для лесов Европы и Северной Америки. Годовая почвенная эмиссия CO_2 в среднем – 4,5±0,6 т С га$^{-1}$ год$^{-1}$.

Межгодовая вариация чистого газообмена экосистемы (NEE) в зоне вечной мерзлоты составляет 1,7–2,4 т С га$^{-1}$ год$^{-1}$, что выводит на верхний предел годовой депонирующей емкости в 450–617 млн т С год$^{-1}$ при общей площади этих лесов в России, равной 257,1 млн га. В лиственничных лесах Сибири ежегодно аккумулируется от 0,4 до 1,0 млрд т С год$^{-1}$, что сопоставимо с данными по европейским и тропическим лесам. Чистая биомная продуктивность (NBP) лиственничных лесов Сибири оценена в пределах 0,26–0,86 млрд т С год$^{-1}$.

По нашим многолетним данным, годовой сток углерода в лиственничном лесу Центральной Якутии составляет 2,12±0,34 тС га$^{-1}$ год$^{-1}$, в лиственничных лесах Юго-Восточной Якутии – 2,43±0,23 т С га$^{-1}$ год$^{-1}$, а в тундровой зоне – 0,75±0,14 т С га$^{-1}$ год$^{-1}$.

Лесные высокочувствительные экосистемы криолитозоны могут быть не только

значительными стоками углекислого газа атмосферы, предотвращающими глобальное потепление климата, но также источниками, в зависимости от сезона года, климатических факторов и интенсивности лесных пожаров.

В мерзлотных лесах северо-востока России заметно преобладает сток углерода по сравнению со всеми исследованными биомами России. Здесь он больше, чем в лугах и тундрах России, в среднем в 1,5 и 4,5 раза соответственно.

Наличие высокой положительной корреляции между многолетними годичными приростами биомассы кроны *Larix cajanderi* и повышением температуры окружающей среды региона указывает на увеличение продуктивности якутских лесов за последние 50 лет в основном в результате увеличения температуры воздуха, нежели атмосферных осадков с увеличением эффективности использования воды и азота у вышеуказанных пород деревьев.

Составленные схематические модели годового бюджета углерода и воды лиственничных лесов криолитозоны свидетельствуют в пользу возрастающего дефицита влаги в условиях потепления мерзлотных почв и расхода запасенной в них влаги. Учитывая значительное уменьшение аккумулирования углекислоты в засушливые и увлажненные годы, повышенную частоту лесных пожаров и увеличение площади перестойных лесов, можно с большой уверенностью говорить о существенном изменении баланса в круговороте углерода и воды в мерзлотных экосистемах при прогнозируемом потеплении климата.

В лиственничных и сосновых лесах субарктической зоны лесов северо-востока России (Якутия) составляют 2 тС·га$^{-1}$·год$^{-1}$ и 2,7 тС·га$^{-1}$·год$^{-1}$ соответственно. Это в среднем в 1,5 и 4,5 раза больше, чем в лугах и тундрах России (станция «Чокурдах») соответственно.

Годовой сток углерода в тундровой зоне в три раза меньше, чем в бореальных лесах. Многолетний анализ NEE тундровой станции «Чокурдах» показывает тенденцию повышения годового стока углерода (Северо-Восток Якутии) по сравнению с лесными биомами (Центральная Якутия) вследствие расширения ареала произрастания кустарниковых видов. И напротив, в лесной экосистеме Якутии наблюдается отрицательная тенденция понижения стока углерода в результате усиления криогенных процессов (увеличения сезонно-талого слоя на 70–80 см), сукцессионного изменения видового разнообразия – большего отпада деревьев, увеличения численности и доминирования травянистых растений.

При временной аппроксимации существующих негативных и положительных тенденций годового аккумулирования углерода лесных и тундровых экосистем возможно нивелирование этих величин к 2030–2040 гг.

Результаты исследований могут быть использованы при эколого-биологической оценке мерзлотных лесных экосистем на региональном и глобальном уровнях, а также при моделировании цикла углерода. Инструментальные данные позволят вплотную подойти к имеющим научную и практическую новизну вопросам, основываясь на ведущей роли фотосинтеза в формировании продуктивности и экологической стабильности биоты. Исследования, проводимые в рамках данной тематики, могут быть использованы при проведении мониторинговых климатических исследований на всей территории Якутии и при научном сопровождении мегапроектов.

УДК: 630*181.343:582.475.4:631.623.4(577.11)

ПОТОКИ ТЕПЛА, ВЛАГИ И CO_2 НА СПЛОШНОЙ ВЫРУБКЕ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЮЖНОЙ ТАЙГЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ 3-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА МЕТОДОМ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

В.В. МАМКИН[1], В. К. АВИЛОВ[1], А.В. ВАРЛАГИН[1], А.В. ОЛЬЧЕВ[1, 2], Ю.А. КУРБАТОВА[1]

[1] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия (vadimmamkin@gmail.com)
[2] Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В работе представлены результаты 3-летнего мониторинга потоков тепла, влаги и CO_2 на свежей сплошной вырубке в южной тайге на европейской территории России (ЕТР). В тепловом балансе экосистемы затраты энергии на суммарное испарение превышали затраты энергии на турбулентный теплообмен с атмосферой. Сплошная вырубка была источником CO_2 для атмосферы в течение 3 лет после удаления лесного полога.

ENERGY, H_2O AND CO_2 FLUXES AT THE CLEAR-CUT IN SOUTHERN EUROPEAN TAIGA: RESULTS OF THE 3-YEAR EDDY COVARIANCE MEASUREMENTS.

V.V. MAMKIN[1], V.C. AVILOV[1], A.V. VARLAGIN[1], A.V. OLCHEV[1, 2], J.A. KURBATOVA[1]

[1]A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia (vadimmamkin@gmail.com)
[2] Faculty of Geography, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The results of the 3-year energy, H_2O and CO_2 flux measurements at the recently clear-cut in southern taiga in European part of Russia are represented in this study. Latent heat flux dominated over the sensible heat flux in the energy balance of the ecosystem. Clear-cut was a permanent source of the CO_2 for the atmosphere during the first 3 years following harvest.

Сплошная вырубка леса оказывает влияние на естественные процессы обмена энергией и веществом природных экосистем с атмосферой. В последние годы исследованию влияния сплошных вырубок леса на энерго- и массообмен в системе экосистема – атмосфера был посвящен ряд работ, выполненных на основе непрерывного мониторинга обменных потоков тепла, H_2O и CO_2 [3, 4, 6]. Удаление лесного полога изменяет соотношение между компонентами теплового и водного балансов [2, 8, 6], а также превращает экосистему в устойчивый источник CO_2 для атмосферы на уровне годовых сумм [1, 2, 5, 7, 9]. Последствия сплошной вырубки леса для энерго- и массообмена лесных экосистем с атмосферой могут значительно отличаться в зависимости от местных климатических и географических условий, а также состава растительности и способов рубки леса. Целью данной работы являлся анализ влияния сплошной вырубки леса на потоки тепла, влаги и CO_2 в условиях южной тайги европейской территории России на основе данных непрерывных экспериментальных наблюдений методом турбулентных пульсаций в течение 3 вегетационных периодов: 2016, 2017 и 2018 г.

Экспериментальные наблюдения проводились в охранной зоне Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ) в Тверской области (56°44′ с. ш., 33°05′ в. д., 250 м н. у. м.). Объект исследования – сплошная вырубка площадью 4,5 га. Растительность леса до вырубки была представлена в основном елью обыкновенной (*Picea abies*), березой повислой (*Betula pendula*) и осиной (*Populus tremula*). Зарастание вырубки происходило в основном за счет травянистой растительности (*Cerastium arvense*, *Fragaria vesca*, *Geum rivale*, *Juncus effusus*, *Filipendula ulmaria* и молодого подроста осины (*Populus tremula*). Листовой индекс

растительного покрова (*LAI*) достигал 2,5 $м^2 \cdot м^{-2}$ в 2016 г., 4,5 $м^2 \cdot м^{-2}$ в 2017 г. и 3,7 $м^2 \cdot м^{-2}$ в 2018 г.

В 2016 г. измерения начались сразу по завершении лесозаготовительных работ (7 апреля) и продолжались до 18 октября. В 2017 г. измерения производились с 5 мая до 15 ноября, а в 2018 г. – с 4 февраля по 29 октября. Измерительное оборудование было установлено на мачте высотой 3 м. Пульсационные измерения осуществлялись с помощью акустического анемометра Gill WindMaster Pro (Gill Instruments Limited, UK) и газоанализатора открытого типа LI-7500A (LI-COR Inc., USA). Параллельно производились дополнительные метеорологические и биометрические измерения: температуры и относительной влажности воздуха, суммарной и отраженной солнечной радиации, собственного излучения земли и встречного излучения атмосферы в длинноволновом диапазоне, фотосинтетически активной радиации, температуры и объемного влагосодержания почвы, потока тепла в почве, а также листового индекса растительного покрова. Расчет потоков производился для 30-минутных интервалов с помощью программного обеспечения Eddy Pro с применением всех необходимых коррекций. После расчета данные, не соответсвующие критериям качества, полученные при условиях слаборазвитой турбулентности, а также собранные в условиях образования росы, тумана и выпадения осадков были удалены. Заполнение пропусков, расчет экосистемного дыхания и валовой первичной продукции осуществлялись при помощи онлайн-инструмента ReddyProc [10].

Для анализа результатов был выбран период 6 мая – 18 октября. За указанный период средняя температура воздуха составила 12,9 °C в 2016 г., 11,6 °C в 2017 г. и 13,4 °C в 2018 г., а сумма осадков – 404,2, 455,2 и 383,4 мм в 2016, 2017 и 2018 г. соответственно. Поступление суммарной радиации также различалось: 2247 $МДж \cdot м^{-2}$ в 2016 г., 2087 $МДж \cdot м^{-2}$ в 2017 г. и 2413 в 2018 г. Альбедо сплошной вырубки демонстрировало сезонный ход. Минимальные значения отмечались весной (11–15 %), а максимальные – в июле – августе (26–30 %). Температура почвы на глубине 10 см изменялась от 6,4 до 20,4 °C в 2016 г. (начиная с 19 мая), от 4,6 до 16,4 °C – в 2017 г. и от 6,7 to 17,9 °C – в 2018 г. Объемное влагосодержание почвы изменялось в пределах 0,36–0,43 $м^3 \cdot м^{-3}$ в 2016 г., от 0,37 до 0,49 $м^3 \cdot м^{-3}$ в 2017 г. и от 0,29 до 0,42 $м^3 \cdot м^{-3}$ в 2018 г.

В годовом энергетическом балансе вырубки затраты тепла на суммарное испарение (*LE*) превышали затраты тепла на турбулентный теплообмен с атмосферой (*H*). Среднее за рассматриваемый период отношение Боуэна ($\beta = H/LE$) составило 0,52 в 2016-м, 0,30 в 2017-м и 0,35 в 2018 г. Внутригодовая динамика *H* во многом определялась динамикой радиационного баланса, в то время как динамика *LE* определялась также динамикой зарастания вырубки. Максимальные величины *H* наблюдались в мае и июне, в то время как максимумы *LE* приходятся на июнь и июль.

Сплошная вырубка являлась устойчивым источником CO_2 для атмосферы в течение всех 3 лет измерений. За рассматриваемый период кумулятивные суммы чистого экосистемного обмена *NEE* составили 553,4 $гС \cdot м^{-2}$ в 2016 г., 193,3 $гС \cdot м^{-2}$ в 2017 г., 456,0 $гС \cdot м^{-2}$ в 2018 г. В первые 3 года после завершения вырубки леса отмечалось постепенное увеличение валовой первичной продукции – *GPP* (775,5 $гС \cdot м^{-2}$ в 2016 г., 1020,5 $гС \cdot м^{-2}$ в 2017 г. и 1322,3 $гС \cdot м^{-2}$ в 2018 г). В то же время экосистемное дыхание (*TER)* изменялось неравномерно (1330,9 $гС \cdot м^{-2}$ в 2016 г., 1213,7 $гС \cdot м^{-2}$ в 2017 г. и 1778,3 $гС \cdot м^{-2}$ в 2018 г.). Важным показателем, определяющим баланс CO_2 экосистемы, является отношение *GPP/TER*. Минимальная величина отношения *GPP/TER* наблюдалась в 2016 г. (0,58), а максимальная – в 2017 г. (0,84). В 2018 году отношение *GPP/TER* составило 0,74. Полученные результаты согласуются с результатами ранее проведенных исследований на сплошных вырубках ранних лет зарастания в условиях произрастания хвойных и широколиственных лесов [1, 3, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Aguilos M., Takagi K., Liang N. et al.* Dynamics of ecosystem carbon balance recovering from a clear-cutting in a cool-temperate forest // Agric. For. Meteorol., 2014, 197: 26–39.
2. *Amiro B.D.* Paired-tower measurements of carbon and energy fluxes following disturbance in the boreal forest // Global Change Biol., 2001, 7: 253–268.
3. *Amiro B.D., Barr A.G., Barr J.G. et al.* Ecosystem carbon dioxide fluxes after disturbance in forests of North America // J. Geophys. Res., 2010, 115: G00K02.
4. *Coursolle C., Margolis H.A., Giasson M.A. et al.* Influence of stand age on the magnitude and seasonality of carbon fluxes in Canadian forests // Agric. For. Meteorol., 2012, 165: 136–148.
5. *Grant R.F., Barr A.G., Black T.A. et al.* Net ecosystem productivity of temperate and boreal forests after clearcutting – a Fluxnet-Canada measurement and modelling synthesis // Tellus Ser. B., 2010, 62 (5): 475–496.
6. *Kowalski S., Sartore M., Burlett R. et al.* The annual carbon budget of a French pine forest (Pinus pinaster) following harvest // Global Change Biol. 2003, 9 (7): 1051–1065.
7. *Paul-Limoges E., Black T. A., Christen A. et al.* Effect of clearcut harvesting on the carbon balance of a Douglas-fir forest. // Agric. For. Meteorol., 2015, 203: 30–42.
8. *Rannik Ü., Altimir N., Raittila J. et al.* Fluxes of carbon dioxide and water vapour over Scots pine forest and clearing // Agric. For. Meteorol., 2002, 111 (3): 187–202.
9. *Rodrigues A., Pita G. Rotenberg E., et al.* Recovery of GPP monthly pattern in a eucalypt site in Portugal after felling // Biogeosciences Disscussions, 2011, 8(2): 3999-4014
10. *Wutzler T., Lucas-Moffat A., Migliavacca M. et al.* Basic and extensible post-processing of eddy covariance flux data with REddyProc // Biogeosciences, 2018, 15(16): 5015–5030.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа была выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41127 РГО, а также при поддержке программ Президиума РАН № 41 «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России» и № 51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

УДК 581.331:576.3:581.5

КАЧЕСТВО ПЫЛЬЦЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ВЫБРОСАМИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С.Г. МАХНЕВА

Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия (makhniovasg@mail.ru)
Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, Россия

В статье представлено исследование качества пыльцы сосны обыкновенной, сформированной в условиях загрязнения среды выбросами медеплавильного производства. Выявленная высокая частота аномалий пыльцы и пыльцевых трубок пыльцы сосны в условиях многолетнего действия техногенного загрязнения позволяет рекомендовать цитоэмбриологические исследования для биомониторинга среды и оценки перспектив естественного возобновления.

QUALITY OF PINE POLLEN IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION BY COPPER SMELTING PRODUCTION EMISSIONS

S.G. MAKHNIOVA

Institute Botanic Garden UB RAS, Yekaterinburg, Russia
Russian state vocational pedagogical university, Yekaterinburg, Russia (makhniovasg@mail.ru)

Investigated the quality of pine pollen in areas of different levels of environmental pollution emissions of copper smelting. The revealed high frequency of pollen anomalies and pollen tubes of pine pollen under the conditions of a long-term action of technogenic pollution allows us to recommend cytoembryological studies for biomonitoring the environment and assessing the prospects for natural regeneration.

Важнейшее значение пыльцы в репродукции растений и ее уязвимость к действию факторов среды объясняет интерес исследователей к изучению структур и процессов в мужской генеративной системе. Целью данной работы было изучение качества зрелой пыльцы сосны обыкновенной, сформированной в условиях загрязнения среды выбросами АО «Карабашмедь».

Техногенное загрязнение на территории г. Карабаша имеет давнюю историю. Первый медеплавильный завод в Карабаше начал выпускать продукцию еще в 1837 г. Нынешний, третий по счету завод (АО «Карабашмедь») работает с 1910 г. Производство черновой меди сопровождается образованием большого количества отходов, включающих диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, неорганическую пыль, соединения меди, цинка, свинца, мышьяка, ванадия и др. К 2004 году в окружающую среду поступило более 14 млн тонн загрязняющих веществ; ежегодные выбросы комбината до 1989 г. составляли 180 тыс. т [3].

Район наших исследований относится к Восточно-Уральской провинции предгорных сосново-березовых лесов в составе Уральской горно-лесной области [1]. Почвенный покров пестрый, представлен бурыми лесными и горно-лесными, оподзоленными глееватыми, серыми горно-лесными, горно-подзолистыми типами; почвы характеризуются невысокой мощностью профиля. В результате строительства и эксплуатации шахт и многолетней деятельности комбината с применением физически и морально устаревшего газоочистного оборудования окружающие территории вблизи предприятия практически лишились растительности и почвенного покрова.

Исследования мужской генеративной системы проводили в 2018 г. на пробных площадях (ПП) в древостоях сосны обыкновенной 2–3 класса возраста, произрастающих на удалении от 4 до 19 км в юго-восточном направлении. Уровень техногенного загрязнения территорий определяли на основании накопления

загрязняющих веществ в снежном покрове и текущего состояния древостоев. Качество зрелой пыльцы сосны оценивали по параметрам ее цитоморфологической (фертильность пыльцы и спектр аномалий) и физиологической полноценности (содержание запасных веществ, способность к прорастанию и развитию пыльцевых трубок на искусственной питательной среде) [2, 4]. Микроскопию пыльцы проводили на микроскопе AxioScope.A1 (Zeiss), камера AxioCam MR5, программа обработки изображения AxioVision Rel 4.8. Для статистической обработки данных использовали методы дескриптивной и многомерной статистики.

Основываясь на данных визуального мониторинга экосистем и уровня техногенного загрязнения снежного покрова, выделили 4 зоны техногенного загрязнения дымовыми выбросами АО «Карабашмедь» (очень сильного, сильного, среднего, слабого уровня) и фоновые условия. Установлено, что протяженность зон загрязнения зависит от расстояния до источника аэрополлютантов, особенностей ландшафта и направления от источника. Зона очень сильного уровня техногенного загрязнения практически лишена древесной растительности. Встречаются лишь отдельные угнетенные деревья березы. Естественные древостои сосны обыкновенной не обнаружены на расстоянии ближе 4 км от основного источника аэрополлютантов. Древостой сосны ПП 11–2 был отнесен нами к зоне среднего уровня техногенного загрязнения (8 км от источника загрязнения), ПП 21– к зоне слабого уровня (13 км), ПП 20 – к фоновой территории (19 км).

Исследование состояния мужской генеративной системы сосны показало следующее. Древостой сосны в зоне слабого уровня техногенного загрязнения (ПП 21) характеризуется достоверно меньшими значениями показателей фертильности и прорастания пыльцы ($p<0,05$) по сравнению с другими ПП при более высоком уровне содержания запасных веществ в пыльце; различия по содержанию липидов достоверны с ПП 11–2, по содержанию крахмала – с ПП 20 ($p<0,05$) (рис. 1, 2). В фоновом древостое в пыльце ко времени созревания накапливается меньше крахмала, чем в пыльце из зон техногенного загрязнения. Для липидов закономерность иная – в пыльце наиболее загрязненной зоны их содержание несколько ниже, чем в пыльце других древостоев (различия между ПП 20 и ПП 21 достоверны при $p<0,05$). Аналогичные тенденции накопления запасных веществ в пыльце сосны были отмечены нами ранее для зон загрязнения фторсодержащими аэрополлютантами [2].

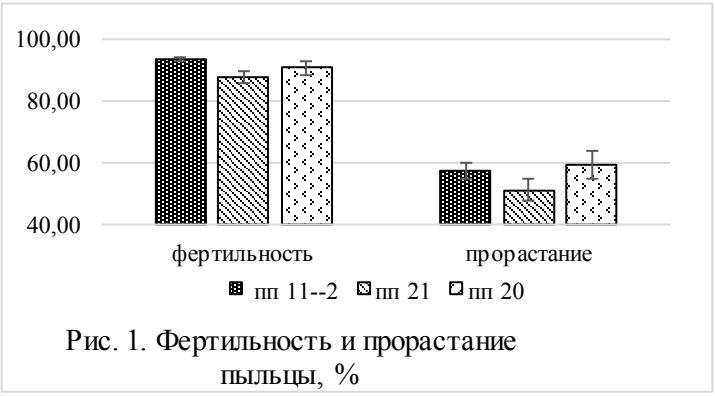


Рис. 1. Фертильность и прорастание пыльцы, %

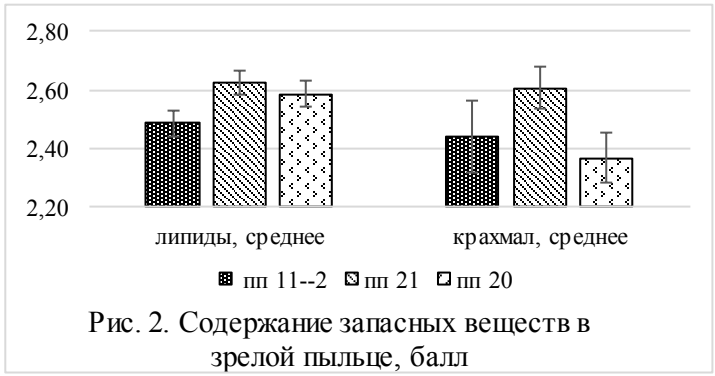


Рис. 2. Содержание запасных веществ в зрелой пыльце, балл

Пыльца из зоны среднего уровня техногенного загрязнения формирует пыльцевые трубки большей длины (различия с ПП 20 достоверны при $p<0,05$) (рис. 3). Однако пыльцевые трубки пыльцы данного древостоя характеризуются нарушениями

развития (имеют вздутия, аномальные ветвления) с достоверно большей частотой по сравнению с другими ПП ($p \leq 0,05$).

Установлено, что в спектре аномалий зрелой пыльцы всех древостоев преобладают пыльцевые зерна с цитологическими нарушениями; в зоне слабого уровня техногенного загрязнения с достоверно более высокой частотой ($p < 0,05$) отмечены также мелкие недоразвитые микроспоры и пыльцевые зерна

Дискриминантный анализ, проведенный с учетом всех изучаемых показателей пыльцы и пыльцевых трубок, выявил достоверные различия между ПП ($p < 0,05$). Установлено, что лучшей разделяющей способностью характеризуются показатели частоты пыльцы с высоким уровнем накопления крахмала, частоты пыльцевых трубок с нарушениями развития и частоты пыльцы с аномальными воздушными мешками.

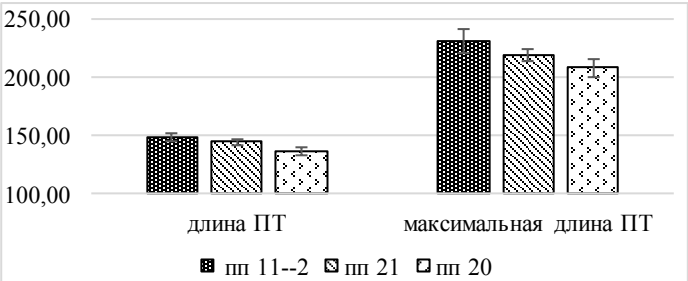


Рис. 3. Длина пыльцевой трубки, мкм

Выявленная нами высокая частота аномалий пыльцы и пыльцевых трубок пыльцы сосны в условиях слабых и фоновых уровней техногенного загрязнения выбросов медеплавильного производства может свидетельствовать об экологическом и/или генетическом неблагополучии территорий, отдаленных от источника техногенного загрязнения. Проявление указанных дефектов мужской генеративной системы в отсутствие явных реакций ассимиляционного аппарата сосны указывает на высокую чувствительность мужской генеративной системы и позволяет рекомендовать цитоэмбриологические исследования для биомониторинга слабых уровней техногенного загрязнения и оценки перспектив естественного возобновления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Колесников Б.П.* Лесорастительные условия и лесорастительное районирование челябинской области // Вопросы восстановления и повышения продуктивности лесов Челябинской области: тр. Ин-та биол. УФАН СССР. Свердловск, 1961. Вып. 26. С. 3–44.
2. *Махнева С.Г., Бабушкина Л.Г., Зуева Г.В.* Состояние мужской генеративной сферы сосны обыкновенной при техногенном загрязнении среды. Екатеринбург: УГЛТА, Изд-во Урал. ун-та, 2003. 154 с.
3. *Об утверждении* заключения экспертной комиссии по материалам оценки степени экологического неблагополучия окружающей среды и состояния здоровья населения и проекта Федеральной целевой программы первоочередных неотложных мер на 1996–2000 годы по выводу территории г. Карабаша из состояния экологического бедствия и оздоровлению населения. Приказ Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации от 25 июня 1996 года № 299.
4. *Паушева З.П.* Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 271 с.

УДК 574.4: 57.033: 57.042

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПОЧВЕННОЙ ЭМИССИИ: ОСНОВНЫЕ КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ДЛЯ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ

А.В. МАХНЫКИНА[1, 2], А.С. ПРОКУШКИН[1,2], С.В. ВЕРХОВЕЦ[1], Н.Н. КОШУРНИКОВА[1], Д.А. ПОЛОСУХИНА[1], Е.А. ВАГАНОВ[1, 2]

[1] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (amakhnykina@sfu-kras.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

Почвенная эмиссия CO_2 – один из важнейших компонентов глобального цикла углерода. В данной работе приводится анализ сезонной динамики почвенной эмиссии в разных типах земного покрова в подзоне средней тайги Центральной Сибири в течение вегетационных сезонов, существенно различающихся по условиям увлажнения. Показано, что величина сезонной эмиссии CO_2 определяется прежде всего условиями увлажнения и лишь во вторую очередь температурным режимом и типом экосистемы.

SEASONAL DYNAMIC OF THE SOIL CO_2 EMISSION: THE MAIN CONTROLING FACTORS IN THE MIDDLE TAIGA OF CENTRAL SIBERIA

A.V. MAKHNYKINA[1, 2], A.S. PPOKUSHKIN[1,2], S.V. VERKHOVETS[1], N.N. KOSHURNIKOVA[1], D.A. POLOSUKHINA[1], E.A. VAGANOV[1, 2]

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (amakhnykina@sfu-kras.ru)
[2] V.N.Sukachev Institute of Forest SB RASc, Krasnoyarsk, Russia

Soil CO_2 emission is one of the most important components of the global carbon cycle. This paper provides an analysis of the seasonal dynamics of soil emission in different types of land cover in the middle taiga subzone of Central Siberia during the growing season, which differ significantly in terms of precipitation conditions. It is shown that the magnitude of seasonal CO_2 emissions is determined primarily by the conditions of moistening, and only secondarily by the temperature regime and the type of ecosystem.

Почвы бореальной зоны имеют особое значение, составляя крупнейший запас органического вещества почвы. Установлено, что накопление углерода в этих почвах происходит в основном из-за низких температур почвы [1], и показано, что экспериментальные манипуляции с температурой почвы увеличивают скорость разложения органических веществ, тем самым увеличивая почвенную эмиссию CO_2 и сокращая время хранения органического вещества в почве [2]. Однако влажность почвы может влиять на почвенную эмиссию параболическим путем, ограничивая корневую и микробную активность в почве при низких уровнях ее влажности, а также ограничивая коэффициент диффузии CO_2 при высоких уровнях влажности почвы [3].

В работе мы рассмотрели, как различные климатические факторы (температура и условия увлажнения) влияют на почвенную эмиссию. Район исследования находился на юге Туруханского района Красноярского края, в зоне охвата международной научной станции ZOTTO (60° с. ш., 90° в. д.).

Изучение сезонной эмиссии CO_2 проводилось при сравнительном анализе сезонов, в значительной степени отличающихся по количеству осадков: сезон 2012 и 2015 г. (рис. 1). Объектами исследования стали три типа экосистем: сосняк лишайниковый, сосняк зеленомошный, смешанный лес, которые занимают более 40 % территории в районе исследования.

Измерения почвенной эмиссии проводили при помощи инфракрасного газоанализатора LI-A8100 (Li-cor Biogeosciences Inc., США). При каждом измерении эмиссии также учитывались температура и влажность почвы. Температура почвы рассчитывалась на трех глубинах – 5, 10 и 15 см с использованием датчика

температуры почвы Soil Temperature Probe Type E (Omega, США). Для измерения влажности почв использовался влагомер Theta Probe Model ML2 (Delta T Devices Ltd., Великобритания), измерения проводились на глубине 5 см от поверхности почвы (без напочвенного покрова).

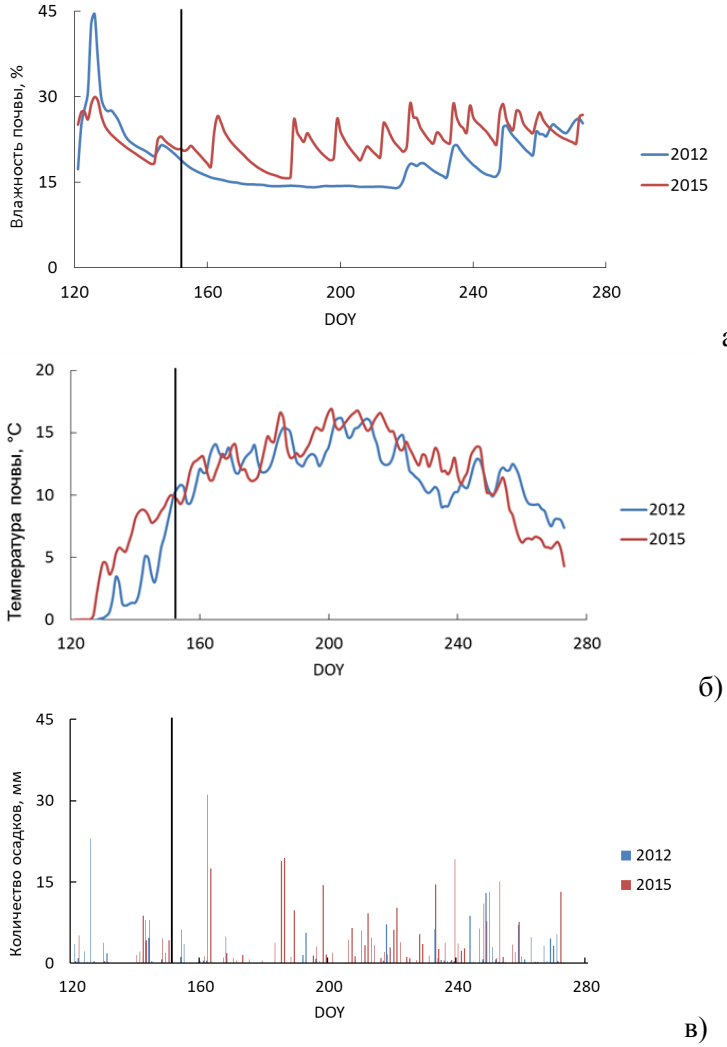


Рис. 1. Сезонная динамика влажности почвы (а), температуры почвы (б) и количества осадков (в) в период с мая по сентябрь. Линией отмечено начало измерительного сезона (1 июня). Непрерывные данные получены с eddy-covariance станции: влажность почвы на глубине 8 см, температура почвы на глубине 8 см и сумма суточных осадков

В работе было установлено, что участок со смешанным лесом характеризуется максимальными величинами почвенной эмиссии, а также вариацией в течение сезона, причем эта закономерность проявилась в оба сезона (рис. 2). Что касается различия в потоках CO_2 между сосняками лишайниковым и зеленомошным, то в среднем они были незначимы (при $p<0,05$).

Выявлено, что сезонная эмиссия в изученных экосистемах в разной степени контролируется климатическими факторами. В сосняке зеленомошном наибольшее влияние оказывает температура почвы ($r = 0,9$ при $p=0,03$). В сосняке лишайниковом – количество атмосферных осадков ($r=0,9$ при $p=0,08$). В смешанном лесу на сезонный поток почвенной эмиссии существенно влияет также количество атмосферных осадков ($r=0,9$ при $p=0,06$).

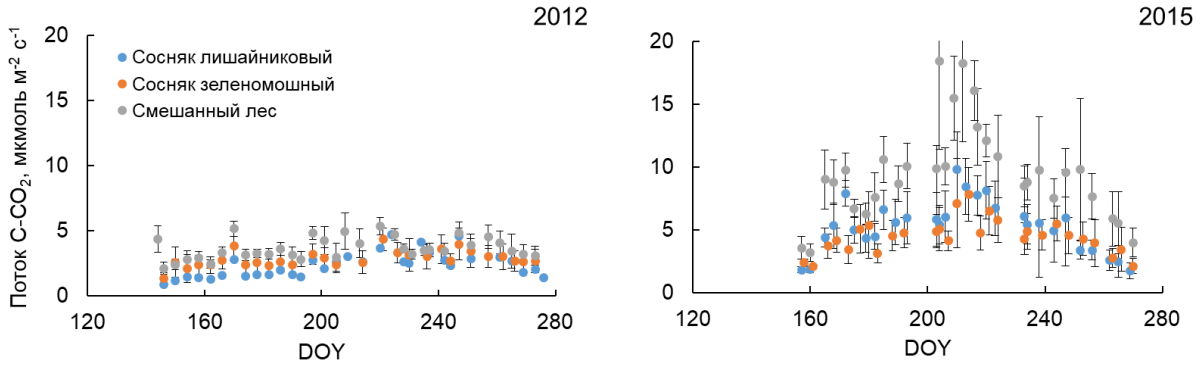


Рис. 2. Сезонная динамика почвенной эмиссии за два сезона (2012 и 2015 г.) в разных экосистемах

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bonan G. B., Shugart H. H.* Environmental Factors and Ecological Processes in Boreal Forests // Ann. Rev. Ecol. Sys. 1989. 20. 1–28.
2. *Lindroth A., Grelle A., More´n A.-S.* Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity // Global Change Biol. 1998. 4. P. 443–450.
3. *Lee X., Wu H.J., Sigler J. et al.* Rapid and transient response of soil respiration to rain // Glob. Change Biol. 2004. 10 (6). P. 1017–1026.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность коллективу стационара ZOTTO за помощь в организации полевых исследований, сотрудникам лаборатории биогеохимических циклов Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, сотрудникам лаборатории биогеохимии экосистем Института экологии и географии Сибирского федерального университета за помощь в обработке и анализе данных. Работа выполнялась при поддержке РФФИ (грант № 18-34-00736).

УДК 630*561.24

РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ И КСИЛОТОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НА РАЗНОЙ ВЫСОТЕ СТВОЛА ДЕРЕВЬЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОЧВАХ КАК ИНДИКАТОРЫ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА

Д.А. МАШУКОВ, В.Е. БЕНЬКОВА, А.В. ШАШКИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (mashukov.da@ksc.krasn.ru)

По результатам исследования динамики радиального прироста и ксилотомической структуры вдоль ствола деревьев лиственницы Гмелина получены косвенные аргументы в пользу следующего предположения: усыхание верхушек в древостое на многолетнемерзлой почве склона северной экспозиции связано с несоответствием между строением водопроводящей системы и физиологически обусловленной потребностью в количестве транспортируемой воды.

RADIAL GROWTH AND ANATOMICAL STRUCTURE AT DIFFERENT PARTS OF THE TREES OF LARCH ON PERMAFROST AS INDICATORS OF WATER DEFICIENCY

D.A. MASHUKOV, V.E. BENKOVA, A.V. SHASHKIN

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (mashukov.da@ksc.krasn.ru)

Indirect arguments in favor of the assumption «the drying of the tree tops in the stems of Gmelin larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.), growing on permafrost soil of the northern slope is due to the discrepancy between the structure of the water transport system in the stem and physiologically determined amount of transported water» were obtained. Characteristics of radial growth and wood anatomy at different heights in a stem were used as the circumstantial evidence of water deficiency.

В северо-таежных лиственничниках (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) на севере Средней Сибири широко распространено явление суховершинности. Особенно часто суховершинность встречается на склонах северной экспозиции, где низкая поступающая солнечная энергия и мощный теплоизолирующий мохово-лишайниковый покров обусловливают небольшую глубину сезонно-талого слоя. Последний имеет низкую температуру и довольно высокую влажность в течение всего вегетационного сезона [1]. Можно предположить, что деревья при обилии холодной почвенной влаги, образующейся при таянии многолетней мерзлоты, в сезон роста испытывают острый водный дефицит – «физиологическую засуху». Для подтверждения этой гипотезы в работе исследовалась динамика радиального годичного прироста и его анатомического строения на разных уровнях высоты в стволе от комля до верхушки. Исследованные показатели играли роль косвенных индикаторов водного дефицита.

Исследование проводилось на базе Эвенкийского опорного экспедиционного пункта ИЛ СО РАН (64°19′23″ с. ш., 100°13′28″ в. д.) в лиственничнике из лиственницы Гмелина, который сформировался на склоне северной экспозиции после сильного низового пожара 1899 г. В древостое на момент взятия образцов (07.2009) насчитывалось более 60 % суховершинных деревьев. Со стволов 13 не поврежденных суховершинностью и 12 суховершинных деревьев взяли по пять спилов: у комля, на 1/4, 1/2, 3/4 высоты и у верхушки, на 20–30 см ниже апекса. На спилах измерили ширину годичных колец (ШГК). Сравнительный анализ анатомических характеристик трахеид в ксилеме суховершинных и неповрежденных деревьев проводился за период, характеризующийся наличием у первых «нарушенностей» в строении годичных колец, – 1999–2009 гг. Для сравнения использовались два показателя: радиальный размер люменов и толщина стенок трахеид.

Суховершинные деревья по радиальному приросту стволовой древесины

достоверно отстают от неусыхающих деревьев: средняя ширина годичных колец (ШГК) у первых в 1,5 раза меньше на 1/4 высоты в стволе и в 2,5 раза меньше у верхушки. Очень узкий прирост вблизи сухой верхушки у суховершинных деревьев (0,048±0,014 мм) указывает на сравнительно низкую камбиальную активность.

У обеих групп деревьев средний размер люмена трахеид и толщина их стенок *уменьшается* от комля к верхушке (рис. 1). Тренд более четко выражен у суховершинных деревьев по сравнению с неповрежденными. У суховершинных деревьев люмен у верхушки в 1,55 раза уже (в среднем), а стенка в среднем в 2,4 раза тоньше, чем на 1/4 высоты в стволе (11 и 17 мкм и 6 и 2,5 мкм соответственно). У неповрежденных деревьев люмен у верхушки в 1,19 раза уже (разница недостоверна при P≥0,95), а стенка в 1,5 раза тоньше, чем на 1/4 высоты в стволе (19 и 16 мкм и 7,5 и 5 мкм соответственно).

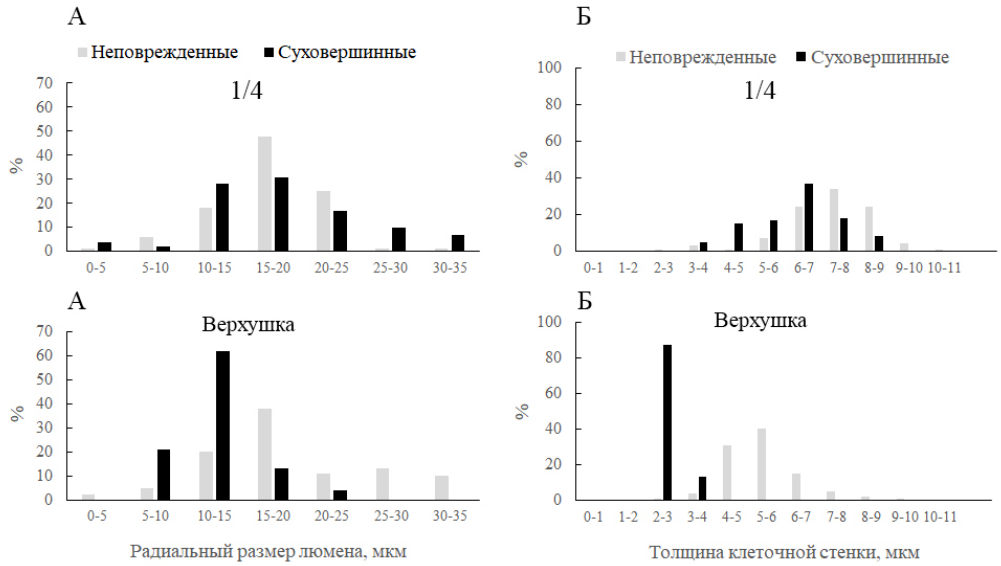


Рис. 1. Ряды распределения числа люменов (А) и клеточных стенок (Б) по размерам на 1/4 высоты в стволе и у верхушки для суховершинных и неповрежденных деревьев лиственницы Гмелина (1999–2009 гг.)

Обе группы деревьев существенно различаются по средним значениям радиального размера люмена и толщины стенок трахеид вблизи верхушек: у суховершинных деревьев люмен в среднем в 1,42 раза уже (различие достоверно при P≥0,95), а стенка – в среднем в 2 раза тоньше (12 и 17 мкм и 2,5 и 5,0 мкм соответственно).

Выявленные отличия суховершинных деревьев от неповрежденных могут быть обусловлены тем, что часть деревьев в древостое, у которых произошло усыхание верхушек, испытывают водный дефицит более остро. Сравнительно низкий водный потенциал на разных уровнях высоты в стволе деревьев обусловливает низкий тургор, при котором клетки растут сравнительно медленно и делятся с меньшей скоростью [4]. В результате формируются сравнительно узкие годичные кольца, состоящие из малочисленных мелких узкополостных трахеид. Эффективность водопроведения таких трахеид низкая, и это усугубляет дефицит поставляемой к верхушкам влаги. Последний приводит к уменьшению фотосинтеза и, соответственно, углеводов, расходуемых на синтез стенок трахеид [3].

В заключение отметим, что результаты анализа анатомического строения стволовой древесины находятся в согласии с результатами, полученными по скользящим 20-дневным корреляционным климатическим функциям отклика

радиального прироста, и позволяют сделать заключение, что все деревья на склоне северной экспозиции при пониженных (ниже среднемноголетних) значениях температуры воздуха и количества осадков с конца мая до двадцатых чисел июня испытывают водный дефицит [2]. Однако отрицательное влияние последнего сказалось на деревьях в древостое по-разному. Одна группа деревьев оказалась более чувствительной к недостатку поглощенной влаги, и впоследствии это привело к усыханию их верхушек. Разная реакция деревьев на водный дефицит проявилась не столько в зависимости радиального прироста от климатических факторов [2], сколько в анатомическом строении древесины, и в основном на верхних уровнях высоты ствола. Стратегия выживания более «чувствительных» к водному стрессу деревьев проявилась в формировании проводящих клеток со сравнительно узкими (в среднем) люменами. В то же время у суховершинных деревьев на 1/4 высоты в стволе имеется 22 % клеток с максимально крупными люменами (25–35 мкм), которых нет у здоровых деревьев. Очевидно, при остром дефиците влаги, которая поступает к верхушке, апикальные меристемы верхушечной части дерева с помощью гормонов могут посылать сигнал в нижнюю часть ствола, и камбий начинает производить крупные клетки, проводимость воды по которым лучше. Но у таких клеток увеличивается риск эмболии, который при низкой поглощающей способности корней (из-за низкой температуры почвы) и высокой транспирации может привести к коллапсу транспортной системы. Для защиты от эмболии у верхушки формируются узкополостные трахеиды (60 % люменов имеют радиальный размер 10–15 мкм: рис. 1). Однако малое количество клеток (2–3 клетки), формирующееся за сезон, не может создать достаточное водообеспечение верхушки и кроны в целом. Формирование очень тонких стенок (2–3 мкм) (рис. 1б) и появление нарушенностей в анатомическом строении древесины в верхней части ствола свидетельствуют о нарушении самого процесса дифференцировки меристематических клеток. В конечном итоге со временем такая реакция деревьев может привести к усыханию верхушек.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бенькова А.В., Машуков Д.А., Бенькова В.Е., Прокушкин А.С., Шашкин А.В.* Значение экспозиции склонов для роста лиственницы Гмелина в мерзлотных условиях Средней Сибири I. Различия в динамике радиального прироста деревьев на склонах северной и южной экспозиции // Сибирский лесной журнал. 2015. 4. С. 18–29.
2. *Машуков Д.А., Бенькова А.В., Бенькова В.Е., Шашкин А.В., Прокушкин А.С.* Значение экспозиции склонов для роста лиственницы Гмелина в мерзлотных условиях Средней Сибири II. Особенности радиального роста на разной высоте стволов // Сибирский лесной журнал. 2018. 3. С. 11–20.
3. *Cosgrove D.J.* Relaxation in a high-stress environment: the molecular bases of extensible cell walls and cell enlargement. Plant Cell. 1997. № 9. P. 1031–1041.
4. *Larson P.R.* The indirect effect of drought on tracheid diameter in red pine. For. Sci. 1963 N 9. P. 52–62.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 17-04-01186 А), РНФ (грант № 18-14-00072).

УДК 630*182.21:528.88

ОЦЕНКА ЗАРАСТАНИЯ ЛЕСОМ НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ПО СПУТНИКОВЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

М.А. МЕДВЕДЕВА, А.Я. ГУЛЬБЕ, Я.И. ГУЛЬБЕ, А.А. МАСЛОВ, А.А. СИРИН

Институт лесоведения РАН, с. Успенское, Московская область, Россия (medvedeva@ilan.ras.ru)

Разработана методика оценки зарастания лесом неиспользуемых сельскохозяйственных угодий на основе совместного применения дистанционного зондирования, картографических методов и наземных обследований на ключевых участках. Методика апробирована на региональном уровне с оценкой за 30-летний период на примере Угличского района Ярославской области.

ASSESSMENT OF FOREST GROWTH ON ABANDONED AGRICULTURAL LANDS USING SATELLITE AND GROUND DATA

M.A. MEDVEDEVA, A.Y. GULBE, Y.I. GULBE, A.A. MASLOV, A.A. SIRIN

Institute of Forest Science RAS, Uspenskoye, Moscow Region, Russia (medvedeva@ilan.ras.ru)

A methodology has been developed to assess forest growth on abandoned agricultural land through the combined use of remote sensing, mapping methods and ground surveys at key sites. The methodology was tested at the regional level with the assessment of forest growth on agricultural lands over a 30-year period on the example of the Uglichsky district of the Yaroslavl region.

В условиях лесной зоны России заброшенные сельскохозяйственные угодья зарастали и продолжают зарастать древесно-кустарниковой растительностью. За последние 30 лет на многих участках сельхозугодий сформировались полноценные лесные насаждения [1, 11, 12 и пр.]. В последние годы работы, посвященные зарастанию сельскохозяйственных угодий в разных регионах России, приобрели актуальность. На примере отдельных районов описаны стадии сукцессионной динамики, а также состав, продуктивность формирующихся лесных насаждений [1, 2, 11 и пр.]. Дистанционные данные позволяют выявить скорость этих процессов и проанализировать их в более широком масштабе. Имеются примеры успешного сочетания дистанционных и наземных методов в масштабах района или хозяйства [5 и пр.].

Однако последствия происходящей экспансии лесной растительности на выведенные из сельскохозяйственного оборота земли до настоящего времени не получили должной оценки ни с экологической, ни с хозяйственной точки зрения [5, 6, 7]. До сих пор не установлены реальные масштабы зарастания сельскохозяйственных земель и характеристики формирующихся на них лесных насаждений. Определение лесохозяйственного и природоохранного значения возникающих здесь лесов и обоснование хозяйственных мероприятий на этих землях необходимо начинать с инвентаризационных работ [3, 4, 5].

Зарастание сельхозземель древесной растительностью наиболее интенсивно протекает в нечерноземной зоне европейской России. Мелкоконтурность и сравнительно небольшие площади зарастающих лесом участков сельскохозяйственных земель, пространственная неоднородность процессов зарастания, отсутствие актуальных материалов лесоустройства лесного фонда и колхозных лесов, недостаточно высокое пространственное разрешение и небольшой выбор материалов космической съемки в начальный период зарастания затрудняют процесс инвентаризации [5, 6, 8]. Поэтому оценку состояния заброшенных сельхозземель стоит проводить, интегрируя дистанционные, картографические и наземные данные [4, 5 и пр.].

В работе представлена методика оценки степени зарастания лесом неиспользуемых сельскохозяйственных угодий. На начальном этапе проводится разбиение ранневесенних изображений на «лес» и «не лес» – прием, который применяется и при изучении изменения растительности на заброшенных осушенных неиспользуемых торфяниках [10]. На следующем этапе на базе обучающей выборки проводится разбиение летних изображений с учетом предыдущего этапа на следующие классы: хвойный лес с доминированием сосны, лиственный лес с доминированием березы, лиственный лес с доминированием ольхи серой, лиственный лес с доминированием ивы, смешанный хвойно-лиственный лес, зарастающие деревьями поля с преобладанием березы, зарастающие деревьями поля с преобладанием сосны, поля и луга, поля и луга с подростом деревьев.

Апробация данной методики проводилась на примере Угличского района (Ярославская область) за 30-летний период – начиная с 1985 г., когда объем сельхозпроизводства района достигал значительных объемов, и до 2015 г. Исследуемая территория была разбита на «лес» и «не лес» для 1985 года – по результатам оцифровки топографических карт и для 2015 года – на основе весенней съемки Landsat-8 за 25.03.2015. Для общей категории «лес» проводилась классификация с обучением методом минимального спектрального расстояния каждого снимка за 2015 год. Были классифицированы данные Landsat-7 за даты 28.05, 03.06 и 22.08 для дальнейшего соединения итоговых классификаций в единое изображение и данные Landsat-8 за 10.05 для разделения лесного участка по породному составу.

Полученные результаты позволяют прогнозировать динамику растительного покрова при изменении землепользования, оценить значение возникших на сельскохозяйственных землях лесных насаждений как для стабилизации атмосферных процессов (включая углеродный цикл), так и в качестве потенциального источника древесины и энергетического сырья [2, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гульбе А.Я.* Процесс формирования молодняков древесных пород на залежи в южной тайге (на примере Ярославской области): дисс. … канд. биол. наук. Ин-т лесоведения РАН. Москва, 2009. 167 с.
2. *Гульбе Я.И., Гульбе А.Я., Гульбе Т.А., Ермолова Л.С.* Динамика биологической продуктивности молодняка ольхи серой на залежи // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 47. С. 13–16.
3. *Королева Н.В., Тихонова Е.В., Ершов Д.В., Салтыков А.Н., Гаврилюк Е.А., Пугачевский А.В.* Оценка масштабов зарастания нелесных земель в национальном парке «Смоленское Поозерье» за 25 лет по спутниковым данным LANDSAT // Лесоведение. 2018. № 2. С. 83–96.
4. *Курбанов Э.А., Губаев А.В., Воробьев О.Н., Лежнин С.А.* Использование космических снимков ALOS для выявления площадей бывших сельскохозяйственных угодий, зарастающих лесом // Геоматика. 2010. № 4. С. 68–72.
5. *Маслов А., Гульбе А., Гульбе Я., Медведева М., Сирин А.* Оценка ситуации с зарастанием сельскохозяйственных земель лесной растительностью на примере Угличского района Ярославской области // Устойчивое лесопользование. 2016. № 4. С. 6–14.
6. *Медведева М.А.* Региональный мониторинг состояния заброшенных торфяников и зарастающих лесом сельскохозяйственных угодий на основе мультиспектральных спутниковых данных: дисс. … канд. биол. наук. Ин-т лесоведения РАН. Москва, 2018. 167 с.
7. *Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сирин А.А.* Оценка состояния заброшенных торфоразработок по многоспектральным спутниковым изображениям // Исследование Земли из космоса. 2011., № 5. С. 80–88.
8. *Медведева М.А., Сирин А.А., Маслов А.А., Гульбе А.Я., Гульбе Я.И., Валяева Н.А., Цыганова О.П., Глухова Т.В., Возбранная А.Е.* Анализ состояния заброшенных торфоразработок и агроценозов по спутниковым и наземным данным // Изучение, сохранение и восстановление

естественных ландшафтов: сб. ст. VI Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф., 26–30 сент. 2016 г., Волгоград. М.: Планета, 2016. С. 243–246.
9. *Медведева М.А., Возбранная А.Е., Сирин А.А, Маслов А.А.* Возможности различных многоспектральных спутниковых данных для оценки состояния неиспользуемых пожароопасных и обводняемых торфоразработок // Исследование Земли из космоса. 2017. № 3. С. 76–84.
10. *Медведева М.А., Макаров Д.А., Маслов А.А., Сирин А.А.* Мониторинг состояния неиспользуемых обводненных торфяников Московской области на основе спутниковых данных // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: матер. VII Всерос. с междунар. участием науч. конф., 22–24 апр. 2019 г., Москва. М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 77–79.
11. *Уткин А.И., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Ермолова Л.С.* О наступлении лесной растительности на сельскохозяйственные земли в Верхнем Поволжье // Лесоведение. 2002. № 5. С. 44–52.
12. *Уткин А.И., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А., Гульбе А.Я., Ермолова Л.С.* Березняки и сероольшаники центра русской равнины – экотон между экосистемами хвойных пород и сельскохозяйственными угодьями // Лесоведение. 2005. № 4. С. 49–66.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке гранта № 21/ДУ-09-2015 Всемирного фонда природы в рамках проекта «Разработка методологии оценки ситуации с зарастанием сельскохозяйственных земель лесной растительностью на региональном уровне и оценки по разработанной методике модельного участка» и проекта РНФ 19-74-20185.

УДК 631.416.5

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ И ПРАЙМИНГ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ

О.В. МЕНЯЙЛО[1], О.Е. МАЛЫШЕВА[2], А.И. МАТВИЕНКО[1], М.С. ГРОМОВА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (menyailo@hotmail.com)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

В ходе исследований был выявлен отрицательный прайминг в почве под елью, указывающий, что при поступлении в почву свежего органического вещества минерализация старого органического вещества уменьшается примерно в два раза. Возможно, этим и объясняется высокое содержание углерода в почвах под ельниками. Поступление азота прекращает отрицательный прайминг и превращает его в положительный, то есть при поступлении азота увеличивается скорость потери углерода.

EFFECTS OF DIFFERENT ECOLOGICAL FACTORS ON MINERALIZATION AND PRIMING OF SOIL ORGANIC MATTER

O.V. MENYAILO[1], O.E. MALYSHEVA[2], A.I. MATVIENKO[1], M.S. GROMOVA[2]

[1] V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (matstasya2008@gmail.com, menyailo@hotmail.com)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (mlevenshteyn@mail.ru)

We found a negative priming under Spruce, which indicates two-fold decline in C mineralization rate if fresh C is added. Perhaps this explains high C accumulation under spruce trees. Addition of N reverse priming effect that changes sign from negative to positive. Thus N deposition from the atmosphere or N fertilization accelerate N losses from spruce forest soils.

В последнее время большой интерес вызывает прайминг органического вещества почв – главного резервуара углерода в биосфере. Прайминг – краткосрочное изменение скорости минерализации органического вещества при поступлении в почву органических или минеральных субстратов [1]. Актуальность исследования прайминга связана с ростом концентрации CO_2 в атмосфере, что повышает активность фотосинтеза и рост растений, приводя к увеличению поступления свежего органического вещества (с корневыми экссудатами и микоризой) в почву. Это может привести к повышению скорости минерализации почвенного углерода и повышению почвенной эмиссии CO_2, создавая положительную обратную связь между климатом и почвой. Механизмы прайминга до конца не выяснены [2]: предполагается, что при попадании в почву свежего органического субстрата, бедного азотом, микроорганизмы для его разложения начинают добывать азот, более активно минерализуя старое органическое вещество [3]. Целью данной работы было изучение активности прайминга в серой лесной почве ельника и лесной поляны при разных температурах, с добавкой и без азотных и фосфорных минеральных удобрений.

Были отобраны два смешанных почвенных образца, состоящих из 10 под-образцов, с ельника мохового и разнотравной лесной поляны. Все образцы были из верхнего минерального горизонта (0–10 см), горизонта А. Свежие образцы просеяли через сито в 1 мм и разложили по 10 г в стеклянные баночки объемом 100 мл. Всего было 24 банок с почвой из-под ельника и 24 с почвой лесной поляны. Таким образом, мы получили 1-й общий фактор «**тип экосистемы**» (2 уровня – поляна и лес). Далее половина образцов (банок) из каждой группы инкубировалась при температуре 5 °С, другая – при 15 °С. Температуры были взяты характерные для реальных полевых условий; они отличались ровно на 10 °С, с тем чтобы можно было прямо рассчитать важнейший показатель температурной чувствительности – Q_{10}. Таким образом, мы получили второй общий фактор, «**температура**», тоже с двумя уровнями – 5 и 15 °С.

Итого у нас оказалось 12 образцов из каждой экосистемы при каждой температуре. Далее мы описывали варианты для 12 баночек, но эти же варианты собирались применять для каждой экосистемы и температуры. Первые 3 банки – контроль, во вторые три банки – добавили раствор меченой ^{13}C-глюкозы, в еще три банки – этот же раствор глюкозы плюс азот, в следующие три банки – раствор глюкозы с ^{13}C плюс фосфор. Меченая глюкоза была необходима для расчета прайминга. В контроль была добавлена вода для выравнивания влажности после внесения растворов в варианты. Теперь мы получили третий общий фактор для статистического анализа – «**удобрения**» с двумя уровнями N и P.

Далее баночки герметично закрывались резиновыми пробками, фиксировались зажимами и инкубировались 9 суток. Каждые сутки из газовой фазы отбирали воздушный образец (1 мл) для анализа концентрации CO_2 и изотопного состава ^{13}C-CO_2 на анализаторе Picarro 2131. Банки каждые 3 дня открывали на 30 мин для проветривания.

Повышение температуры увеличило базальное дыхание (без добавок) в почве под ельником больше, чем в почве лесной поляны. Это указывает на наличие на лесной поляне какого-либо другого лимитирующего фактора помимо температуры. Добавление в почву глюкозы резко увеличивает температурный отклик скорости образования CO_2 из-за повышенной чувствительности минерализации глюкозы к повышению температуры. Добавление азота и глюкозы вместе приводит к росту микроорганизмов, что выражается в максимальной скорости образования CO_2. Прайминг зависит и от температуры, и от удобрений, и от типа экосистем. Самый большой и отрицательный прайминг наблюдался в почве под ельником при 15 °C, что говорит об ингибировании минерализации С поступлением свежего углерода.

Экологическая значимость работы заключается в том, что выявленный отрицательный и большой прайминг в почве под елью при 15 °C указывает: при поступлении в почву свежего органического вещества минерализация органического старого вещества уменьшается примерно в два раза. Возможно, этим и объясняется высокое содержание углерода в почвах под ельниками. Поступление азота прекращает отрицательный прайминг и превращает его в положительный, то есть при поступлении азота увеличивается скорость минерализации органического вещества [4]. Глобальные изменения климата, увеличение CO_2 в атмосфере, увеличение поступления свежего углерода под ельниками приведет к дополнительному накоплению углерода в почве (за счет отрицательного прайминга). Азотные депозиции, наоборот, могут уменьшить накопление углерода в почвах под ельниками.

На основании проделанной работы можно сделать некоторые выводы:

1. Повышение температуры увеличивает базальное дыхание (без добавок) в почве под ельником больше, чем в почве на лесной поляне.
2. Добавление в почву глюкозы резко увеличивает температурный отклик скорости образования CO_2 из-за повышенной чувствительности минерализации глюкозы к повышению температуры.
3. Добавление азота и глюкозы вместе приводит к росту микроорганизмов, что выражается в максимальной скорости образования CO_2.
4. Прайминг зависит и от температуры, и от удобрений, и от типа экосистем. Самый большой и отрицательный прайминг наблюдался в почве под ельником при 15 °C, что говорит об ингибировании минерализации С поступлением свежего углерода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kuzyakov Y., Friedel J.K., Stahr K.* Review of mechanisms and quantification of priming effects // Soil Biology & Biochemistry. 2000. 32. 1485–1498.
2. *Blagodatskaya E.V., Kuzyakov Y.* Mechanisms of real and apparent priming effect and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review // Biology and Fertility of Soils. 2008. 45. 115–131.
3. *Craine J.M., Morrow C., Fierer N.O.* Microbial nitrogen limitation increases decomposition // Ecology. 2007. 88. 2105–2113.
4. *Janssens I.A., Dieleman W., Luyssaert S. et al.* Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition // Nature Geoscience. 2010. 3. 315–322.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 17-04-01776 и 18-54-52005).

УДК 630*165.3

ГЕНЕТИКО-СЕЛЕКЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНСТИТУТА ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Л.И. МИЛЮТИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (milyutin@ksc.krasn.ru)

Обсуждаются достижения Института леса в генетико-селекционных исследованиях, а также некоторые перспективы этих исследований.

GENETIC AND BREEDIND STUDIES OF THE SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS

L.I. MILYUTIN

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (milyutin@ksc.krasn.ru)

The achievements of the Institute of forest in genetic and breeding studies, as well as some of the prospects for these studies are discussed.

Как отмечал основатель Института леса Академии наук академик В.Н. Сукачев, исследования в области генетики и селекции лесных древесных растений являются важнейшей составной частью лесоведения. Эти взгляды В.Н. Сукачева нашли свое практическое воплощение в том, что в числе первых научных подразделений Института леса была создана лаборатория лесной генетики и селекции, которую возглавил ученик и соратник В.Н. Сукачева, Заслуженный деятель науки РСФСР, лауреат Государственной премии СССР, доктор биологических наук, профессор Л.Ф. Правдин.

В настоящее время Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН является крупнейшим центром фундаментальных и прикладных исследований в области лесной генетики и селекции в нашей стране. Эти исследования проводятся в основном коллективом лаборатории лесной генетики и селекции, хотя в работах участвуют сотрудники и некоторых других научных подразделений института. В частности, многоплановые исследования по данной тематике проводит коллектив Западно-Сибирского отдела Института.

Институт леса является первым, а в настоящее время практически единственным научным коллективом, разрабатывающим проблемы кариологии и цитогенетики лесных древесных растений. В процессе исследований впервые выявлены добавочные хромосомы у видов хвойных. Получена масштабная информация о кариологических и цитогенетических особенностях суходольных и болотных популяций сибирских видов хвойных. Изучение природных популяций видов хвойных в различных условиях среды выявило большое кариотипическое разнообразие, наличие геномных и хромосомных мутаций различного типа. Установлено, что в оптимальных условиях хромосомные аномалии у хвойных наблюдаются очень редко. У границ видовых ареалов, в экстремальных условиях среды и в антропогенно (техногенно) нарушенных экосистемах обнаружены отклонения в числе и морфологии хромосом. В таких условиях встречаются геномные и хромосомные мутации, увеличивается число нуклеолярных районов в хромосомах, повышается частота хромосомных мутаций. Совместно с московскими специалистами разрабатываются новые методы анализа кариотипов хвойных с применением молекулярно-цитогенетических маркеров. Это дает возможность идентифицировать отдельные хромосомы и выявлять гомологичные пары в кариотипе, обнаруживать хромосомные перестройки. С помощью флуоресцентной гибридизации *in situ* изучены хромосомные наборы основных лесообразующих видов Сибири. Установлено, что кариотипы разных видов различаются по числу и распределению локусов рибосомных генов, что открывает

новые возможности при анализе генетического разнообразия, микроэволюции, внутри- и межвидовой дивергенции. К сожалению, развитие этого перспективного направления исследований сдерживается из-за отсутствия некоторых видов лабораторного оборудования.

Успешное внедрение в исследования методов популяционной генетики позволило сотрудникам института получить качественно новую информацию о генетическом разнообразии лесных древесных растений. К настоящему времени накоплены обширные материалы о генетической структуре, уровнях внутрипопуляционной и межпопуляционной изменчивости, степени генетической дифференциации популяций в пределах ареалов основных лесообразующих видов хвойных Сибири.

Помимо анализа генетической изменчивости популяций древесных растений, популяционно-генетические исследования позволяют решать широкий круг задач популяционной генетики и в целом биологии видов хвойных. Они могут успешно использоваться для изучения филогеографической структуры видов, эволюции, филогении, процессов естественной межвидовой гибридизации. В институте созданы и успешно используются лабораторные помещения для генетико-популяционных исследований, но, к сожалению, отсутствие некоторых видов оборудования и нехватка средств для приобретения реактивов сдерживают развитие этих исследований.

Исследования в области лесной селекции и семеноводства проводились в основном в трех направлениях. Первое из них заключалось в анализе роста, плодоношения и других особенностей отдельных внутривидовых таксонов в природных популяциях лесообразующих видов хвойных (экотипов, климатипов, форм и др.) с целью отбора наиболее ценных генотипов и популяций, а также для сохранения и рационального использования генетических ресурсов этих видов. Наиболее детально изучены природные популяции сосны обыкновенной (лесостепные районы Сибири, Приангарье, Тува, Восточное Забайкалье, Монголия), видов лиственницы (Забайкалье, Прибайкалье, Монголия, Эвенкия); сосны кедровой сибирской (Западный Саян, Алтай, Прибайкалье). Слабее изучены популяции ели сибирской и пихты сибирской. Очень мало материалов о фенотипической структуре популяций ели аянской.

Большое общебиологическое значение имеет развитое в лаборатории новое научное направление на стыке генетики и селекции древесных растений с экологией. Направление основано на сравнительном изучении популяционной структуры и изменчивости близких видов. Интересные и важные результаты получены при анализе популяционной структуры в разных частях ареалов древесных растений и их географической изменчивости. Установлен повышенный полиморфизм краевых популяций под влиянием комплексного воздействия генетических и экологических факторов. Очень важны для развития целого ряда направлений биологии проведенные многоплановые исследования процессов естественной межвидовой гибридизации древесных растений.

Важным направлением деятельности института является создание научно-производственных лесосеменных объектов (географических культур и прививочных плантаций), а также анализ роста и других особенностей произрастающих на этих объектах климатипов. Лаборатория лесной генетики и селекции Института леса создала обширную сеть географических культур видов хвойных: от Западной Сибири до Восточного Забайкалья и от Туруханска до Западного Саяна. И хотя в настоящее время финансовые и кадровые проблемы не позволяют продолжать изучение большинства этих объектов, полученные на них в первые годы после посадки материалы представляют большую ценность.

Ценные материалы получены в таких областях генетико-селекционных исследований, как культура тканей и биотехнология, биология плодоношения

древесных растений, анализ роста и устойчивости растений-интродуцентов. Достижения в этих областях будут доложены в других сообщениях.

Говоря о достижениях в лесной генетике, селекции и семеноводстве, необходимо отметить, что есть вопросы, требующие детального обсуждения и критического анализа, без которого невозможны перспективы дальнейших исследований. Не касаясь экономических общегосударственных проблем, хотя они в большинстве случаев являются основными препятствиями для полноценных исследований, рассмотрим чисто научные вопросы. Прежде всего, на наш взгляд, следует отметить главный недостаток не только лесной селекции, но и селекции растений в целом: отсутствие обоснования генетической обособленности большинства выделяемых внутривидовых таксонов – форм и др. В частности, отсутствует достоверное определение географической изменчивости и ее доли в общей генетической изменчивости древесных растений. И вообще пока нет должной взаимосвязи между лесной генетикой и лесной селекцией. Предпринимались усилия по объединению этих направлений (в форме заявки в РФФИ), они заслужили высокие оценки рецензентов, но финансовой поддержки не получили.

Интересной проблемой является взаимосвязь селекции и биоразнообразия. Известно, что любой отбор снижает уровень биоразнообразия. Таким образом, селекция, направленная на повышение уровня внутривидового таксономического биоразнообразия, невозможна, и речь в данном случае может идти только о биоразнообразии лесных экосистем. В этой связи перспективным, на наш взгляд, является современное направление генетики – эпигенетика, которая в определенной степени учитывает влияние условий среды на генотип организма.

Важным направлением деятельности института являются мероприятия по сохранению лесных генетических ресурсов. Необходимо проведение работ по расширению сети лесных генетических резерватов, а также по переводу ценных лесосеменных объектов, в частности, географических культур в категорию особо охраняемых природных территорий.

К сожалению, в современной лесной селекции используется главным образом отбор в его различных вариантах. Недостаточно применяются другие методы, например, межвидовая гибридизация, индуцированный мутагенез...

Недавно в нашей стране была принята специальная государственная программа по развитию генетических технологий, в которой есть 4 раздела: генетика в медицине, сельском хозяйстве, биотехнологиях, вопросах безопасности. Можно надеяться, что в этой программе найдут отражение и проблемы лесной генетики и селекции.

УДК 630.44(075.8)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ НАСАЖДЕНИЙ В БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ

Т.И. МОРОЗОВА

Иркутская межобластная ветеринарная лаборатория, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия (ti.morozova@mail.ru)

Нами разработаны критерии определения состояния хвойных пород региона в норме и предложена методика для оценки состояния древостоев, учитывающая морфометрические особенности растений в Байкальском регионе.

DETERMINATION OF PLANTATIONS DAMAGE IN BAIKAL SIBERIA

T.I. MOROZOVA

Irkutsk Interregional Veterinary Laboratory, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia (ti.morozova@mail.ru)

We have developed criteria for determining the state of conifers in the region in the norm and proposed a method for assessing the state of tree stands taking into account the morphometric characteristics of plants in the Baikal region.

Устойчивость деревьев к повреждающим факторам зависит от их регенеративной способности, которая в свою очередь обусловливается частотой естественной смены хвои того или иного вида, темпами восстановления прироста побегов и степенью образования дополнительных побегов [8]. Эти показатели в разных регионах произрастания неодинаковы. Длительность жизни листьев в пределах вида изменяется в различных географических областях и высотных поясах [10]. В Байкальском регионе продолжительность жизни хвои и ветвей второго порядка в 1,5 раза превышает европейские показатели. Если рассматривать сосну, то продолжительность жизни хвои в норме у этой породы по европейским данным составляет 3 года [3] – в таком случае поражение хвои первого и второго года некоторыми грибными болезнями приводит к процессу необратимого ослабления деревьев. В условиях Байкальского региона продолжительность жизни хвои сосны в норме составляет 4–5 лет, и при поражении 1–2 летней хвои этими же грибами деревья в дальнейшем могут успешно восстанавливаться. Таким образом, критерии оценок состояния леса, используемые в европейской части России, не могут быть применены в неизменном виде в других регионах.

В целом анализ работ по лесной фитопатологии и лесопатологии свидетельствует о допустимом использовании комбинированных и оригинальных методик для выполнения обследований специального назначения и, тем более, для выполнения научно-исследовательских работ [4, 5].

Нами разработаны критерии определения состояния хвойных пород региона в норме и предложена методика для оценки состояния древостоев, учитывающая морфометрические особенности растений в Байкальском регионе [6, 7]. При обследовании пробной площади не всегда можно определить, какой фактор приводит к сокращению продолжительности жизни ассимиляционных органов. Поэтому первоначально дается общая оценка состояния деревьев на пробной площади – по продолжительности жизни хвои и ветвей второго порядка и уровню дефолиации. В первую очередь визуально определялся общий процент повреждения крон комплексом микромицетов в целом по древостою и по каждому ярусу в отдельности. Учитывались тип повреждения, возраст повреждаемых органов, вид патогена. Состояние хвойных оценивалось по продолжительности жизни хвои. На каждой площадке из 50–100

деревьев берется средняя продолжительность жизни хвои отдельных пород и принимается за 100 %. Виды хвойных были объединены в три группы.

В первую группу вошли пихта и ель. Хвоя на ветвях вегетирует до 10–12 лет. Здоровым считается дерево, если хвоя сохраняется до 10 лет без признаков ослабления. На каждый год приходится 10–15 % продолжительности жизни ветвей второго порядка.

Ко второй группе отнесли сосну, кедр, кедровый стланик. Продолжительность жизни хвои в среднем 3–5 лет. На каждый год приходится 20–25% продолжительности жизни ветвей второго порядка.

К третьей группе была отнесена лиственница. У этой породы состояние кроны складывается из поражения хвои кроны, состояния брахибластов (их способности к возобновлению, живут от 2 до 40 лет), продолжительности жизни ветвей второго порядка.

В четвертую группу были включены все лиственные породы. У них определяется: общий процент поражения кроны, площадь поражения отдельных листьев (развитие болезни на листовой пластинке), продолжительность жизни ветвей второго порядка.

У лиственных деревьев часть элементов восстановительного механизма, свойственного хвойным, развита сильнее, а часть утрачена. Лиственные, несмотря на принадлежность к разным семействам, порядкам и даже подклассам, имеют сходный механизм восстановления листового аппарата [9].

На постоянных пробных площадях обследование проводилось детальным методом. Процент поражения крон деревьев определялся как средний для 50–100 деревьев. В первую очередь визуально определялся общий процент повреждения крон комплексом повреждений в целом по древостою и по каждому ярусу в отдельности. Повреждение хвои и ветвей отдельными факторами встречается в различных соотношениях. Пример постоянного сочетания – когда ветви или ствол поражены раковым заболеванием, а ослабленная хвоя заражена грибным заболеванием независимо от возраста хвои. Повреждение хвои на одном дереве может быть сделано одним видом или, в сочетании, несколькими. При этом может быть поражена хвоя текущего года и последних лет; текущего и прошлого года; прошлого и последних лет, а повреждения – нанесены насекомыми и грибами; возможно и усыхание хвои и ветвей от болезней и промышленного загрязнения. Раковые заболевания оценивались для всех пород деревьев одинаково. Определялась встречаемость заболеваний на 100 деревьев. В очагах проводится детальный учет количества поврежденных ветвей на крону, количества раковых опухолей на ствол.

Оценку повреждения древостоев раковыми заболеваниями и ведьминными метлами можно проводить в любое время года (для диагностики вида – в период спороношения гриба). Проявление заболевания хвои текущего года происходит в мае – июне, спороношение видов, вызывающих повреждения типа шютте, может отмечаться с мая по сентябрь. Заболевание типа ржавчины – в июне – августе. Поэтому при рекогносцировочных разовых маршрутах видовой состав может быть учтен только частично, в зависимости от времени проведения обследования. При фитопатологических обследованиях на техногенно загрязненных территориях следует иметь в виду следующее. На сильно загрязненных территориях снижается продолжительность жизни хвои у всех хвойных, а также продолжительность жизни ветвей второго порядка [1] в зависимости от местонахождения от эпицентра загрязнения. В здоровых насаждениях ветви второго порядка живут у ели до 30–35 лет, сосны – 20 лет и более [10]. Продолжительность жизни хвои на сильно ослабленных деревьях сокращается в два раза, то есть в первой группе – до 5–6 лет; во второй – до 2–3 лет, а ветви второго порядка живут до 10 лет, ветвей третьего-четвертого порядков практически нет. При средней степени ослабления деревьев: в первой группе

продолжительность жизни хвои – 7–9 лет; во второй – 3–4 года, ветви второго порядка живут до 17 лет, ветви третьего-четвертого порядка встречаются единично.

При обследовании любой площадки, закладываемой лесопатологом, не всегда можно определить, какой фактор приводит к дефолиации кроны: повышенная концентрация токсиканта, поражение грибными болезнями, повреждение насекомыми, затопление, засуха или рекреационная нагрузка. Продолжительность жизни хвои уменьшается только на площадях с сильным ослаблением леса, а продолжительность жизни ветвей второго-третьего порядков отмечается уже в зонах среднего и слабого повреждения. Корреляционный анализ показал, что наибольшее влияние на дефолиацию, связанную с промышленными выбросами, имеет отмирание побегов, а не хвои.

Учеты по этой простой методике могут проводить не только специалисты в области энтомологии и фитопатологии. Достаточно уметь определять возраст хвои и ветвей. Следует провести оценку состояния леса и составить карту для каждого района.

С применением данного метода была проведена оценка состояния древостоев на 150 пробных площадях, охватывающих территорию Байкальского региона практически полностью. Проанализирована динамика численности микромицетов, выделены районы ослабленных лесов, в которых следует вести постоянный мониторинг. С помощью картографических методов можно сделать прогноз трансформации насаждений.

По нашим наблюдениям, на площадях с сильным загрязнением в сосновых и темнохвойных лесах при уменьшении токсической нагрузки происходит нормализация ассимиляционного аппарата хвойных. При снижении токсической нагрузки в два раза произошло восстановление продолжительности жизни хвои даже в сильно загрязненных районах. Древостои с высшим баллом продолжительности жизни хвои и ветвей более устойчивы к различным негативным воздействиям, таким как загазованность, грибные эпифитотии, очаги размножения насекомых.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.А.* Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
2. *Воронцов А.И., Семенкова И.Г.* Лесозащита. М.: Агропромиздат, 1988. 336 с.
3. *Методика* организации и проведения работ по мониторингу лесов СССР // Госком СССР по лесному хоз-ву. Пушкино: ВНИИЛМ, 1987. 45 с.
4. *Минкевич И.И.* Эпифитотии грибных болезней древесных пород. Л.: Изд-во Ленингр. ун–та, 1986. 116 с.
5. *Мозолевская Е.Г., Соколова Э.С., Воронцова Н.А.* Практикум по лесозащите. М.: Агропромиздат, 1988. 111 с.
6. *Морозова Т.И.* Метод оценки состояния древостоев в Байкальском регионе // Реакция растений на глобальные и региональные изменения природной среды. Иркутск: Изд-во «Твин», 2000. С. 63.
7. *Морозова Т.И.* Методы исследований, применяемые в лесной фитопатологии в Байкальской Сибири. Иркутск: ООО оперативная типография «На Чехова», 2003. 35 с.
8. *Рожков А.С.* Массовое размножение сибирского шелкопряда и меры борьбы с ним. М.: Наука, 1965. 180 с.
9. *Рожков А.С., Хлиманкова Е.С., Степанчук Е.С.* Восстановительные процессы у хвойных при дефолиации. Новосибирск: Наука, 1991. 88 с.
10. *Серебряков И.Г.* Экологическая морфология растений. М.: Высшая школа, 1962. 378 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-29-05074.

УДК 634.0.165.4 : 576.312.35/37

КАРИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХВОЙНЫХ В ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ И В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ

Е.Н. МУРАТОВА, Т.С. СЕДЕЛЬНИКОВА, О.В. ГОРЯЧКИНА, А.В. ПИМЕНОВ, Е.В. БАЖИНА, М.И. СЕДАЕВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (elena-muratova@ksc.krasn.ru)

Приведены результаты кариологического и цитогенетического изучения хвойных в оптимальных и экстремальных условиях произрастания. Особое внимание уделено изучению мейоза и использованию новых методов в исследованиях хромосом основных лесообразующих видов.

KARYOLOGICAL AND CYTOGENETICAL STUDIES ON CONIFERS IN NATURAL POPULATION AND AT INTRODUCTION

E.N. MURATOVA, T.C. SEDELNIKOVA, O.V. GORYACKINA, A.V. PIMENOV, E.V. BAZHINA, M.I. SEDAEVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (elena-muratova@ksc.krasn.ru)

Results of karyological and cytogenetical studies on conifers in optimal and extreme growing conditions are given. Special attention is paid to the study of meiosis and the use of new methods in the studies of the chromosomes of the main forest-forming species.

Кариологические и цитогенетические исследования хвойных вносят большой вклад в изучение их биоразнообразия, решение таксономических проблем, вопросов эволюционной и популяционной генетики. В Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН исследования кариотипов древесных растений начаты Л.Ф. Правдиным в 60-х гг. XX в. с изучения сосны обыкновенной [1]. В 60–70-х гг. большой вклад в развитие кариологических исследований внесла М.В. Круклис [2, 3]. С тех пор и до настоящего времени в институте проводятся исследования хромосом хвойных Евразии.

Изученные виды относятся к четырем родам семейства сосновые (Pinaceae) – пихта (*Abies*), лиственница (*Larix*), ель (*Picea*), сосна (*Pinus*) и 5 родам семейства кипарисовые (*Cupressaceae*) – кипарисовик (*Chamaecyparis*), кипарис (*Cupressus*), можжевельник (*Juniperus*), микробиота (*Microbiota*), туя (*Thuja*). В общей сложности изучено более 150 популяций и местообитаний в оптимальных и экстремальных условиях (в том числе на болотах разных типов), в нарушенных экосистемах, дендрариях, ботанических садах и парках. Исследованы внутривидовые формы, расы, культивары, а также встречающиеся в природе отдельные особи с отклоняющимися от нормального признаками габитуса и особенностями генеративных органов.

Диплоидный набор представителей рода *Abies* (2n=24) включает 7 пар метацентрических и 4 пары субмета- и субакроцентрических хромосом. Наиболее подробно проведено изучение пихты сибирской (*A. sibirica*) – одного из основных компонентов темнохвойной формации лесов Сибири. В разных популяциях выявлен сравнительно низкий уровень внутривидового кариологического полиморфизма.

При кариологическом исследовании разных популяций широко распространенных бореальных видов лиственницы *Larix sibirica*, *L sukaczewii*, *L. gmelinii* и *L. cajanderi* установлено, что их кариотипы включают шесть пар метацентрических и шесть пар субмета- или интерцентрических хромосом (2n=24). Впервые у представителей данного рода были обнаружены добавочные, или В-хромосомы (2n=24+1B): у лиственницы Гмелина в Восточной Сибири (Читинская обл.), лиственницы сибирской на севере Средней Сибири (окрестности г. Норильска) и в Южной Сибири (Республика Хакасия). Определялись числа хромосом в семенном потомстве деревьев *L. sibirica* типичного габитуса и отклоняющихся от нормальных – с

ведьминными метлами, кустовидных, с крупными и мелкими шишками, а также внутривидовых форм, выделенных по окраске женских шишек.

Кариотипы видов рода *Picea* (2n=24) включают 8 пар длинных метацентрических, две пары коротких метацентрических и 2 пары коротких субметацентрических хромосом. Проведены детальные исследования ели сибирской (*P. obovata*) из различных популяций Сибири. Во многих популяциях данного вида обнаружены добавочные хромосомы (2n=24+1-4B). Одну или несколько В-хромосом включают и другие исследованные нами виды ели: *P. abies* – 1-4B, *P. ajanensis* – 1-3B, *P. breweriana* – 1B, *P. × fennica* – 1B, *P. glehnii* – 1-5B, *P. koyamae* – 1B, *P. meyeri* – 1-3B, *P. pungens* – 1B, *P. purpurea* – 1B, *P. schrenkiana* – 1B. К настоящему времени в роде *Picea* найдено 20 видов с добавочными хромосомами, включая межвидовой гибрид *P. × fennica*.

Изучены различные сосны, относящиеся к двум разным группам рода *Pinus*: кедровые сосны (подрод *Strobus*, секция *Strobi*, подсекция *Cembrae*) и обыкновенные сосны (подрод *Pinus*, секция *Pinus*, подсекция *Sylvestres*). Среди кедровых сосен проанализированы сосна сибирская (*P. sibirica*), сосна корейская (*P. koraiensis*) и кедровый стланик (*P. pumila*). В группе *Sylvestres* подробно изучена сосна обыкновенная и некоторые другие виды. У кедровых сосен (2n=24) имеется 11 пар метацентрических и одна пара субметацентрических хромосом; у сосен группы *Sylvestres* – десять пар метацентрических и две пары субметацентрических. Разные виды и популяции различаются по числу и локализации вторичных перетяжек.

У видов сосны, лиственницы, ели и пихты обнаружены хромосомные и геномные (анеуплоиды, миксоплоиды, в отдельных случаях полиплоиды) мутации. Они выявляются преимущественно в экстремальных условиях произрастания, а также в условиях интродукции в различных географических регионах, далеких от естественных ареалов. Миксоплоидия найдена у отклоняющихся от нормальных форм деревьев *L. sibirica* и *P. sylvestris*. Большой спектр изменчивости чисел хромосом отмечен у полярной формы лиственницы сибирской (*L. sibirica,* f. *polaris*), произрастающей на Таймыре в условиях техногенного загрязнения. Миксоплоидия выявлена в семенном потомстве некоторых видов сосен-интродуцентов (*P. pinaster*, *P. uncinata*, *P. contorta* x *P. banksiana*) из дендрария «Софронка» (окрестности г. Пльзень, Чехия). При кариологическом изучении хвойных на суходолах и болотах различного типа в южно-таежной подзоне Западной Сибири установлено, что спектр геномных и хромосомных мутаций в метафазах и ана-телофазах у деревьев на болоте шире, чем на суходоле.

Проведен анализ мейоза пихты сибирской и ели сибирской в естественных древостоях и в условиях интродукции (в дендрарии), а также лиственницы Гмелина в дендрарии ИЛ СО РАН. В естественных насаждениях пихты сибирской мейоз обычно начинается в начале мая, идет в течение 2–4 суток, тогда как в дендрарии его продолжительность более растянута во времени. У ели сибирской мейоз проходит в последней декаде апреля в течение 1–5 суток; в дендрарии он начинается и заканчивается позже, чем в естественных популяциях. У лиственницы Гмелина мейоз наблюдается во второй декаде марта и занимает 5–7 суток. Особенностями мейоза у данных видов в дендрарии являются большая его продолжительность и несколько иной спектр аномалий по сравнению с природными популяциями. У пихты сибирской и ели сибирской отмечена асинхронность развития в пределах одного микроспорангия и микроспороцита; в дендрарии наблюдается еще большая асинхронность, чем в естественных условиях. У лиственницы Гмелина асинхронность незначительная. На разных стадиях мейоза данных видов был обнаружен широкий спектр нарушений. В условиях интродукции по сравнению с естественными насаждениями частота встречаемости нарушений значительно выше, а их спектр значительно шире. Спектр

нарушений мейоза у ели сибирской в дендрарии был несколько меньше, чем в естественных популяциях.

Виды семейства кипарисовых характеризуются числом хромосом 2n=22. Кариологическое исследование можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis*) на болотах и суходолах Западной Сибири не выявило существенных различий в кариотипах [4]. Изучены широко распространенные в интродукции виды: *Chamaecyparis lawsoniana*, *Cupressus arizonica*, *C. sempervirens*, *Microbiota decussata*, *Thuja orientalis*, культивары *T. occidentalis* с различной окраской хвои и формой кроны. Установлено, что у представителей этого семейства широко встречается миксоплоидия.

Большинство видов хвойных в норме являются диплоидами со стабильными основными числами хромосом и сходными кариотипами. При работе с такими геномами новую информацию можно получить, используя молекулярно-цитогенетические маркеры. Это дает возможность идентифицировать отдельные хромосомы в кариотипе, подбирать гомологичные пары, выявлять хромосомные перестройки. К настоящему времени с помощью флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH) с пробами 5S и 45S рРНК генов изучены хромосомные наборы нескольких видов *Larix* и *Picea*. Сравнительное молекулярно-цитогенетическое изучение трех видов лиственницы показало, что четко различаются между собой *L. sibirica* и *L. gmelinii.* Близкородственные виды *L. gmelinii* и *L. cajanderi* по рисунку гибридизации не различаются. У ели Шренка *P. schrenkiana* мажорные сайты генов 45S рРНК имеются в пяти парах хромосом (рис. 1), у ели сибирской – в шести. Установлено, что кариотипы разных видов значительно различаются по числу и распределению локусов рибосомных генов. Использование метода флуоресцентной гибридизации *in situ* открывает новые возможности при анализе генетического разнообразия, путей микроэволюции, внутривидовой и межвидовой дивергенции хвойных.

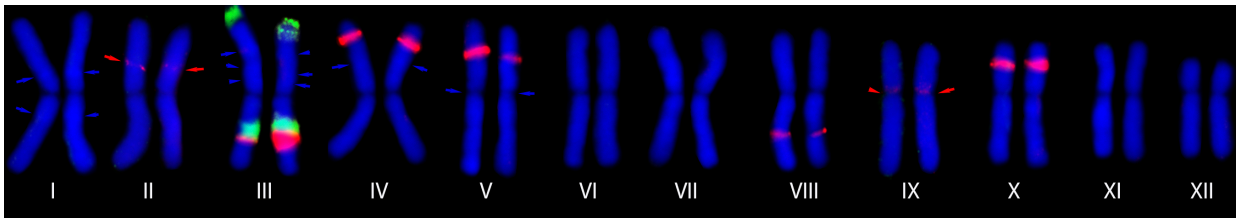


Рис. 1. Локализация генов рибосомной РНК и DAPI-бэндов на хромосомах ели Шренка:
5S рРНК – зеленые сигналы, 45S рРНК – красные сигналы; миноры указаны красными стрелками, DAPI-бэнды – синими стрелками

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правдин Л.Ф.* Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 191 с.
2. *Круклис М.В.* Добавочные хромосомы у голосеменных (на примере *Picea obovata* Ldb.) // Докл. АН СССР. 1971. 196. 5. С. 1213–1216.
3. *Круклис М.В., Милютин Л. И.* Лиственница Чекановского. М.: Наука, 1977. 211 с.
4. *Михеева Н.А., Муратова Е.Н., Ефремов С.П.* Характеристика кариотипа можжевельника обыкновенного // Лесоведение. 2005. 3. С. 72–76.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках базового проекта № 0356-2019-0024.

УДК 574.4

ЭМИССИЯ CO_2 И CH_4 ОТ РАЗЛОЖЕНИЯ КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Л.В. МУХОРТОВА, С.Ю. ЕВГРАФОВА, М.К. МЕТЕЛЕВА, Л.В. КРИВОБОКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (l.mukhortova@gmail.com)

Проведена экспериментальная оценка скорости потоков CO_2 и CH_4 при разложении древесных остатков лиственницы и березы, собранных в северной тайге Средней Сибири. Установлено, что скорость продуцирования CO_2 и чувствительность этого потока к повышению температуры выше для древесины березы. Разложение древесины лиственницы сопровождается более высокой продукцией метана.

EMISSION OF CO_2 AND CH_4 FROM DECOMPOSITION OF COARSE WOODY DEBRIS IN NORTHERN BOREAL FOREST ECOSYSTEMS OF CENTRAL SIBERIA

L.V. MUKHORTOVA, S.Yu. EVGRAFOVA, M.K. METELEVA, L.V. KRIVOBOKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (l.mukhortova@gmail.com)

Experimental assessment of CO_2 and CH_4 fluxes from decomposition of coarse woody debris of larch and birch from northern boreal forests of Central Siberia was made. We found that rate of CO_2 production and temperature sensitivity of this flux was higher during decomposition of birch wood while decomposition of larch wood was accompanied by higher emission of methane.

Увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере признается одной из основных причин современных изменений климата [5]. В лесных экосистемах большое количество углерода, изъятого из атмосферы, аккумулируется в древесной фитомассе. По последним оценкам, запасы углерода в древесной биомассе в лесах России составляют более 30 Пг, а ежегодная аккумуляция – 250 Мт [1]. После отмирания дерева ствол подвергается процессу разложения, в результате которого аккумулированный в древесине углерод возвращается в атмосферу.

Низкая скорость разложения не предполагает, что разлагающиеся крупные древесные остатки в ненарушенных лесных экосистемах могут оказывать существенное влияние на концентрации парниковых газов в атмосфере. Однако после пожаров, ветровалов и гибели древостоев от воздействия насекомых-вредителей запасы крупных древесных остатков могут увеличиваться настолько, что этот пул будет уже служить заметным источником парниковых газов. Кроме того, поток парниковых газов от разлагающихся крупных древесных остатков может иметь значение в межсезонье (весной и осенью), когда фотосинтетическая активность растений снижена [2, 4].

В последние 10 лет было установлено, что при разложении древесных остатков наряду с углекислым газом наблюдается также выделение метана [2, 6, 7], который является одним из наиболее активных парниковых газов [3].

Целью наших исследований была экспериментальная оценка потоков парниковых газов (CO_2 и CH_4) от разложения крупных древесных остатков в подзоне северной тайги Средней Сибири. Образцы крупных древесных остатков для экспериментальной оценки эмиссии CO_2 и CH_4 были собраны в лесных экосистемах Центральной Эвенкии (64° с. ш., 100° в. д.). Образцы отбирали от крупных древесных остатков лиственницы и березы. Эти породы являются основными лесообразующими видами в регионе: лиственница (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) формирует здесь практически монодоминантные древостои в низинах и на склонах сопок, береза (*Betula tortuosa* Ledeb.) произрастает в основном на вершинах сопок.

Образцы древесины отбирали от крупных древесных остатков разных стадий разложения. Выделяли 3 стадии разложения. Основными признаками для отнесения ствола к одной из этих стадий была плотность древесины и наличие сохранившихся коры и ветвей. К первой стадии разложения относили стволы, древесина которых еще не потеряла свою плотность и где сохранялись маленькие и средние ветви и кора. Стволы второй стадии разложения характеризовались плотной древесиной, кора на них легко отставала, но еще присутствовала на стволе, были сохранены крупные ветви. На стволах, относимых к третьей стадии разложения, могли еще сохраняться фрагменты коры и частично были сохранены крупные ветви, но древесина уже в значительной степени потеряла свою твердость.

Образцы древесины отбирали в трех повторностях для каждой стадии разложения. Эти повторности были отобраны от трех разных стволов, по внешним признакам относящихся к одной из трех стадий разложения. Образцы древесины помещали в герметичные контейнеры объемом 1500 мл. Исходную концентрацию CO_2 и CH_4 измеряли сразу после закрытия контейнеров. Скорость потоков CO_2 и CH_4 определяли по изменению концентрации этих газов в экспериментальном объеме воздуха через 24 часа, через 3 и 6 суток инкубации. Инкубацию проводили последовательно при температуре +5 °С, +15 °С и +25 °С. Измерение концентрации CO_2 и CH_4 выполняли с помощью газового анализатора Picarro G2201-i.

При повышении температуры инкубации на каждые 10 °С наблюдалось двукратное увеличение скорости эмиссии CO_2 для древесины лиственницы на всех стадиях разложения. Скорость продукции углекислого газа при разложении образцов крупных древесных остатков березы была почти в 2 раза выше, чем для лиственницы, при одинаковой температуре. Разложение древесины березы было также более чувствительно к повышению температуры. Температурный коэффициент Q_{10}, показывающий, во сколько раз увеличивается скорость химической или биологической реакции при повышении температуры на 10 °С, составлял от 2,65 до 3,69 для разных стадий разложения древесины березы.

Анализ ковариат (ANCOVA) показал, что скорость эмиссии CO_2 при разложении крупных древесных остатков лиственницы в наибольшей степени зависит от влажности разлагающейся древесины – содержание воды в древесине объясняет 62 % вариации скорости дыхания разлагающейся древесины. Температура является вторым по значимости фактором и определяет дополнительно 17 % вариабельности потока CO_2. Третьим по значимости фактором является степень разложенности древесины (стадия разложения), которая объясняет дополнительно не более 4 % вариабельности. В целом влажность, температура и стадия разложения объясняют почти 85 % вариабельности скорости эмиссии углекислого газа при разложении древесины лиственницы.

Основным фактором, определяющим скорость потока CO_2 при разложении древесины березы, является температура, которая объясняет около 45 % вариабельности дыхания. Стадия разложения древесины объясняет дополнительно 21 % изменчивости этого потока. Совместное воздействие этих двух факторов добавляет еще 18 % к объяснению общей вариабельности эмиссии CO_2. Таким образом, ведущими факторами при разложении древесины березы являются температура и стадия разложения, совместное действие которых способно объяснить более 84 % изменчивости скорости потока CO_2.

В ходе инкубации образцов крупных древесных остатков лиственницы наблюдалось также увеличение концентрации метана в экспериментальном объеме воздуха. Наиболее высокая скорость выделения метана фиксировалась при разложении древесины второй стадии разложения. Наименьшей скоростью продуцирования CH_4 отличалась древесина третьей стадии разложения, независимо от того, какой тип гнили

(белая или бурая) отмечался у образцов. Скорость потока метана также зависела от температуры. При повышении температуры от +5 °С до +15 °С скорость эмиссии метана увеличивалась на 12–27 % для древесины первой и второй стадии разложения. Повышение температуры от +15 °С до +25 °С вызывало трехкратное увеличение продуцирования CH_4 при разложении древесных остатков лиственницы этих стадий разложения. Для третьей стадии разложения эмиссия метана была обнаружена только при температуре +15 °С и +25 °С для древесины, разлагаемой грибами белой гнили.

Для древесных остатков березы эмиссия метана была отмечена только на первой стадии разложения. Разложение древесины второй и третьей стадий сопровождалось снижением концентрации метана.

В целом экспериментальная оценка потоков парниковых газов (CO_2, CH_4) при разложении крупных древесных остатков лиственницы и березы показала, что основными факторами, определяющими скорость эмиссии углекислого газа, являются видовая принадлежность древесных остатков, степень и характер разложения древесины, влажность древесного субстрата и температура окружающей среды. Наибольшей скоростью продуцирования CO_2 характеризуется древесина, находящаяся на третьей стадии разложения. На поздних стадиях разложения древесина, разложенная грибами бурой гнили, выделяет в 3,5 раза больше углекислого газа по сравнению с разложением грибами белой гнили. Скорость эмиссии CO_2 при разложении крупных древесных остатков березы почти в два раза превышает таковую при разложении древесных остатков лиственницы.

Разложение древесины лиственницы сопровождается выделением метана. Этот поток также зависит от температуры окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н., Честных О.В.* Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России // Экология. 2005. 5. С. 323–333.
2. *Мухин В.А., Воронин П.Ю.* Микогенное разложение древесины и потоки углерода в лесных экосистемах // Экология. 2007. 1. С. 24–29.
3. *Direct* Global Warming Potentials. IPCC Fourth Assessment Report. 2007.
4. *Komhyr W.D., Gammon R.H., Harris T.B., Waterman L.S., Conway T.J., Taylor W.R., Thoning K.H.* Global atmospheric CO_2 distribution and variations from 1968–1982 NOAA/GMCC CO_2 flask sample data // J. Geophys. Res. 1985. 90: 5567–5596.
5. *Ma Q.* Greenhouse Gases: Refining the Role of Carbon Dioxide // NASA GISS: Science Briefs. 1998. [Электронный ресурс.] URL: www.giss.nasa.gov. Retrieved.
6. *Mukhortova L., Evgrafova S., Meteleva M., Krivobokov L.* Experimental assessment of greenhouse gasses emission (CO_2, CH_4) from decomposed coarse woody debris in northern boreal forests of Central Siberia / 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM2017. Issue 32. Vol. 17. 2017. Pp. 829–836.
7. *Warner D.L., Villarreal S., McWilliams K., Inamdar Sh., Vargas R.* Carbon Dioxide and Methane Fluxes From Tree Stems, Coarse Woody Debris, and Soils in an Upland Temperate Forest // Ecosystems. 2017. 20 (6): 1205–1216.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования проведены в рамках выполнения Государственного задания № АААА-А17-117101940016-3 (№ 0356-2019-0009) «Динамика лесов Сибири в меняющемся климате: мониторинг жизненного состояния, продуктивности и ареалов основных лесообразующих видов древесных растений».

УДК 630.1+581.5

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ МНОГОЦЕЛЕВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРОГНОЗА В ГОРНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЮГА СИБИРИ

Д.И. НАЗИМОВА[1], Т.И. КОНОВАЛОВА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (inpol@mail.ru)
[2] Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН; Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия (tknov@mal.ru, konovalova@irigs.irk.ru)

В условиях необратимых изменений окружающей среды и климата на территории юга Сибири в последние десятилетия актуальной задачей является включение современных методов и концепций лесной экологии в ландшафтные исследования, выработка согласованной позиции наук, занимающихся прогнозом будущих лесов. Практика лесопользования в горных лесах предполагает многоцелевое планирование территории на ландшафтной основе с учетом всего разнообразия экосистемных функций горных лесов. В связи с принятой концепцией устойчивого лесопользования ландшафтостабилизирующие функции горных лесов приобретают более важное значение, чем сырьевые.

LANDSCAPE-ECOLOGICAL APPROACH TO PROGNOSIS AND MULTIPLE LAND USE IN THE MOUNTAIN FOREST ECOSYSTEMS OF THE SOUTHERN SIBERIA

D.I. NAZIMOVA[1], T.I. KONOVALOVA[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (inpol@mail.ru)
[2] V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS; Irkursk Starte University, Irkutsk, Russia (tknov@mal.ru, konovalova@irigs.irk.ru)

In the conditions of irreversible changes in the environment and climate in the territory of southern Siberia in recent decades, the urgent task is to include new methods and concepts of forest ecology in landscape researches, to develop coordinated positions of scientists engaged in forecasting future forests. Forest management practices in mountain forests imply multi-purpose planning on a landscape basis, taking into account the entire diversity of ecosystem functions of mountain forests. In connection with the accepted concept of sustainable forest management, the landscape-stabilizing functions of mountain forests are becoming more important than the primary ones.

Природопользование в широком смысле этого термина включает рациональное ведение хозяйства на территории, при котором поддерживается устойчивое состояние природной среды и идет восстановление нарушенного равновесия в местах, поврежденных антропогенными или природными стихийными факторами.

1. На деле мы видим массу негативных последствий и усиливающиеся процессы деградации, в частности, сибирских лесов. Основные риски связаны с антропогенными факторами, региональными изменениями погодно-климатических режимов, природными пожарами, нашествиями энтомовредителей.
2. В своем сообщении мы акцентируем внимание **на горных лесах**, требующих к себе особого отношения в силу глобальных средозащитных функций. Для них соблюдение регионально-типологического принципа ведения хозяйства было введено на уровне закона и признано в Концепции развития лесного хозяйства на рубеже XX–XXI веков.
3. **Регионально-типологический принцип** предполагает: 1) систему районирования, 2) регионально-типологическую классификацию, отражающую иерархическую структуру лесного покрова и 3) представление лесного покрова в виде более или менее подробной картографической модели. В ней находят свое место единицы типологии лесов (лесных экосистем) и классификации ландшафтов. Здесь уместно

выражение «экосистемы функционируют в ландшафтах», созвучное тезису «лес – явление географическое».

4. В век геоинформационных технологий и дистанционных методов изучения лесов, при новых возможностях их картографирования и инвентаризации, с особой тревогой приходится видеть последствия безграмотного хозяйствования в лесах без учета этих истин, знакомых лесоводам и лесным экологам. К сожалению, утрата фундаментальных знаний специалистами, занимающими высокие должности, и местнические интересы чиновников разного уровня не позволяют преодолеть устаревшие инструкции и порядки. Отсюда – торможение в принятии разумных (научно обоснованных) решений на местах. Конкретные предложения от науки – учет высотно-поясной дифференциации лесного покрова в горных и плоскогорных ландшафтах – до сих пор остаются нереализованными для большинства горных лесничеств Сибири.
5. С целью проведения в жизнь концепции устойчивого и рационального использования лесных богатств единственной основой для территориального управления ими и всеми иными природными ресурсами на уровне административных единиц – краев и областей – может быть эколого-географическая или ландшафтно-экологическая. Экологическое содержание важно включать в виде количественных параметров среды, а также показателей структуры и функционирования экосистем. Это даст возможность прогнозировать поведение экосистем и их компонентов в ответ на изменение внешних факторов – климата, гидрологического режима, стихийных бедствий и антропогенных нарушений.
6. В связи с неполным знанием процессов, протекающих в ландшафтах, трудно давать однозначные прогнозы и приходится использовать вероятностный подход, при котором рассматриваются разные сценарии динамики экосистем. Тут особенно важны знание **общих** географических закономерностей, с одной стороны, и учет региональных и даже **локальных** особенностей лесных объектов, для которых делается прогноз, с другой.
7. Концепция **зональных, интразональных (экстразональных) и азональных экосистем** ранга геоморфологических комплексов разного порядка и масштаба, или, иначе, ПТК, локально либо регулярно встречающихся внутри зональных или высотно-поясных комплексов БГЦ, предлагается как исходная платформа для моделирования поведения экосистем в ландшафтах. Сочетание зональных, экстразональных и интразональных экосистем (или геосистем) создает резерв устойчивости в ландшафте и играет особенно важную роль в горах в силу высоких градиентов изменения среды на коротких расстояниях.
8. Парадоксальность структурной организации горных ландшафтов, в отличие от равнинных, состоит, с одной стороны, в их большей уязвимости при действии экзогенных факторов риска, а с другой – в их устойчивой (даже стабильной) **морфоструктуре**, сохраняющейся неизменной до поры до времени в силу консервативности литолого-геоморфологического звена и связанных с ним геохимических потоков. Последняя особенность структуры и функционирования горных ландшафтов не позволяет игнорировать межбиогеоценозные связи, т. е. контакты и взаимодействия смежных биогеоценозов, а также и взаимовлияние ландшафтных единиц более крупной размерности – **геомов** – и соответствующих им экосистемных мозаик.
9. **Прогноз** состояния и реакции лесных экосистем на происходящие изменения в окружающей природе требует выработки общих позиций и единой платформы для лесной экологии и конструктивной географии (ландшафтоведения) с последующей передачей выработанных решений в органы управления лесной отраслью. Здесь

главным орудием *географической* науки выступает картографический метод и создание региональных ГИС. Лесная *экология*, в свою очередь, делится своими достижениями в области понимания общих и частных законов функционирования живых наземных экосистем и моделирования их динамики.

10. Сочетание географических фундаментальных знаний с экологическими, преемственность идей, проверенных временем, максимальное использование современных возможностей изучения ландшафтного покрова, в т. ч. данных лесоустройства, выполнившего грандиозную задачу инвентаризации лесов в 1950–1990 гг., позволяет применить положительный опыт по созданию карт лесов на ландшафтной (эколого-географической) основе. Огромные преимущества заложены в создании региональных ГИС с надежной привязкой к топографической цифровой основе (ЦМР), что особенно значимо для труднодоступных территорий. Кроме того, их цель – не только инвентаризация лесного покрова, но и отражение динамических состояний лесных массивов и отдельных типов леса (коренные, условно-коренные, длительно- и короткопроизводные, по В.Н. Сукачеву). Те же или очень близкие по сути переменные состояния геосистем (по В.Б. Сочаве) выделяются при анализе типов насаждений, биогеоценозов и типов леса в объеме, предлагаемом Б.П. Колесниковым.
11. Недостаток знаний в области климатических параметров экосистем, в частности, горного макро- и мезоклимата, осложняет прогноз не только лесов будущего (их состава на перспективу ближайшей сотни лет), но и современного лесообразовательного процесса. При неполных знаниях о современном климате и тенденциях изменения не только тепла, но и увлажнения и их сезонных режимов на региональном уровне прогнозы специалистов не могут восприниматься (и не воспринимаются) с доверием в практической деятельности. В лучшем случае они будут полезны как предостережение. Попытки прогноза будущих лесных экосистем на основе ретроспективных моделей динамики насаждений следует признать несостоятельными, особенно для переходных (экотонных) ландшафтов, которые широко представлены на юге Сибири, на контакте южной тайги, подтайги и лесостепи.
12. Более адекватными и заслуживающими обсуждения специалистами-лесоводами, экологами и географами выглядят прогнозы, разработанные с учетом сценариев изменения климата на перспективу последних десятилетий и ближайшего столетия и имеющие вероятностный характер. При этом разнообразие **динамических** (восстановительно-возрастных) рядов и рядов **трансформаций** к новому состоянию, ранее не случавшемуся, может быть достаточно велико в зависимости от сочетания экзогенных факторов, смены окружения и эмерджентных свойств экосистем, а также конкурентных взаимоотношений эдификаторов-лесообразователей и множества случайных факторов, усиливающих неопределенность развития на локальном уровне.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 18-05-00781.

УДК 630*261

ПОСТАГРОГЕННЫЕ ЛЕСА: РОСТ, ПРОДУКТИВНОСТЬ, КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ

Е.Н. НАКВАСИНА[1], Л.В. ГОЛУБЕВА[2], Н.С. МИНИН[1], Н.А. ПРОЖЕРИНА[3]

[1] Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия (nakvasina@yandex.ru)
[2] Архангельский педагогический колледж, Архангельск, Россия (lgv76@rumbler)
[3] Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова, Архангельск, Россия (pronad1@yandex.ru)

Представлена характеристика постагрогенных лесов, сформированных на дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах в Каргопольском районе (азональные почвы таежно-лесной зоны) и дерново-подзолистых в Холмогорском районе (зональные почвы таежно-лесной зоны) Архангельской области. Показаны особенности их формирования на залежах, повышенная продуктивность и качество древесины.

POSTAGROGENIC FORESTS: GROWTH, PRODUCTIVITY, WOOD QUALITY

E.N. NAKVASINA[1], L.V. GOLUBEVA[2], N.S. MININ[1], N.A. PROZHERINA[3]

[1] Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia (nakvasin-a@yandex.ru)
[2] Arkhangelsk Pedagogical College, Arkhangelsk, Russia (lgv76@rumbler)
[3] N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Russia (pronad1@yandex.ru)

The characteristic of postagrogenic forests formed on sod-podzolic residual-carbonate soils in the Kargopol region (azonal soils of the taiga-forest zone) and sod-podzolic soils in the Kholmogorsky district (zonal soils of the taiga-forest zone) of the Arkhangelsk region is presented. Features of their formation on deposits, the increased productivity and quality of wood are shown.

В последние десятилетия увеличение доли вторичных лесов связано с отчуждением сельскохозяйственных земель в 1990-е годы, когда из сельскохозяйственного пользования было выведено, по разным оценкам, около 45 млн га [2, 3]. Однако исторически постагрогенные леса – леса на землях сельскохозяйственного пользования – формировались и ранее. В лесных угодьях Севера до сих пор можно встретить леса с необычными перемешанными почвами, сохранившими память о пашенном земледелии [1]. В Архангельской области подсечное земледелие существовало до 1930-х годов, в результате леса по старым подсекам только в южной части области занимают 1/10 часть лесфонда, что оценивается почти в 1 млн га [5].

Постагрогенные леса на разных стадиях формирования отличаются от условно коренных по флористическому составу, свойствам почв, продуктивности, перераспределению пула углерода и другим показателям [3, 4, 6]. Изучение старых постагрогенных лесов позволяет спрогнозировать изменения лесфонда в связи с зарастанием лесом современных залежей.

В процессе изучения демутационных сукцессий на залежах Архангельской области подобраны и изучены приспевающие и спелые постагрогенные леса, сформировавшиеся на заброшенных пашнях. В настоящей работе представляем фрагменты характеристик постагрогенных лесов, сформированных на дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах в Каргопольском районе (азональные почвы таежно-лесной зоны) и дерново-подзолистых в Холмогорском районе (зональные почвы таежно-лесной зоны).

В том и другом случае в почвенном покрове постагрогенных лесов III–IV классов возраста сохраняются признаки пахоты: хорошо выражен старопахотный горизонт, часто с ровной нижней границей, темноокрашенный и однородно перемешанный, нехарактерный для лесных почв. Агрохимические свойства почв выше по сравнению с верхними горизонтами нативных почв. Так, в зональных подзолистых почвах степень насыщенности основаниями старопахотного горизонта может достигать 80 % и более, что в 2–3 раза превосходит нативные аналоги. Признаки залежности сохраняются и в напочвенном покрове. Лесная подстилка, как правило, сформирована, хотя и отличается меньшей мощностью и структурной сформированностью по сравнению с лесными аналогами. В составе ценофлоры постагрогенных лесов присутствуют луговые, опушечные виды, а также виды, используемые в системах севооборотов при сельскохозяйственном пользовании, например, клевер, доля которого в проективном покрытии может достигать 80 %.

Зарастание пашен в условиях характерного для Севера мелкополья происходит достаточно быстро, но часто ограничивается промежуточным пользованием, сенокошение в первые годы отчуждения земель задерживает самозарастание вырубок древесными породами на 10–20 лет. Породный состав молодняков на залежах определяется стенами леса, состав древостоев на залежах чаще однопородный (сосна, ель, береза, осина, ольха), но может быть и смешанный. Под пологом постагрогенных древостоев численность подроста мала, в соотношении подрост/подлесок преобладают теневыносливые подлесочные виды, распространяющиеся вегетативным и семенным способом (рябина, черемуха).

Сохранившееся высокое эффективное плодородие пашенных земель, обеспеченное в период активного землепользования известкованием, внесением минеральных и органических удобрений, отзывается на росте и продуктивности насаждений.

Обращает на себя внимание то, что все хвойные древостои, формирующиеся на старопахотных залежах, имеют высокий класс бонитета, на 1–2 единицы выше, чем одновозрастные древостои на нативных землях подзон средней и северной тайги. Для насаждений характерно редкое стояние деревьев, что может быть как результатом естественного изреживания, так и влиянием междеревного выкашивания после забрасывания. Поэтому полнота и численность деревьев в древостоях, сформированных на залежах, ниже, чем на естественных землях (табл. 1). Запас древесины в постагрогенных лесах, несмотря на низкую численность насаждения, достаточно высок, а в пересчете на аналогичную естественным древостоям полноту насаждений выше на 40–50 м^3 для сосны (34 %), ели (20 %). Запас стволовой древесины осинника VIII класса возраста на одной из залежей Каргопольского района составил 501 м^3/га, что близко к показателям запаса в Московской области (650 м^3/га).

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоев на залежных полях

Состав древостоя	Густота, шт./га	Порода	Класс возраста	Диаметр, см	Высота, м	Запас древостоя, м^3/га	Класс бонитета
Каргопольский район, средняя тайга							
9С1Е+Ос	1080	С	IV	19,4	28,0	259	III
8Е1С1Ос	430	Е	III	18,2	29,3	261	III
6С4Е	575	С	V	36,0	21,3	508	II–III
		Е	V	29,4	21,6		
5Е4С1Б	525	С	IV	23,6	18,6	340	III

Высокая продуктивность основных лесообразующих пород на залежах обеспечена их интенсивным ростом, особенно в молодом возрасте. Радиальный прирост у сосны и ели на залежах значительно выше, чем на лесных землях. В ряде случаев ширина годичного кольца повышается в 2–3 раза по сравнению с нативными древостоями. Это приводит к значительному снижению числа годичных колец на единицу диаметра ствола, увеличению доли поздней древесины. В связи с этим меняется и плотность древесины. Повышение показателей хорошо заметно в возрасте деревьев до 40 лет, позже происходит их выравнивание. В результате средняя плотность древесины ствола сосны и ели, произрастающих на залежах, хотя и несколько ниже, чем в естественных насаждениях, но входит в интервал средних данных по региону для естественных насаждений [7] и всего на 10 % ниже определенных ГСССД-69-84 стандартных показателей.

Постагрогенные леса несут в своем строении, качестве древесины, особенностях формирования подпологовой растительности признаки агрогенного воздействия, которые хорошо заметны в течение по крайней мере 100 лет и отличают их от нативных лесных насаждений. Основным критерием признания агрогенного воздействия являются почвы, сохраняющие высокое плодородие. Такие леса, являясь вторичными с признаками агрогенеза, требуют идентификации и выстраивания особой политики управления лесопользованием.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Голубева Л.В., Наквасина Е.Н.* Зарастание древесной растительностью постагрогенных земель на карбонатных отложениях Архангельской области // Изв. С.-Пб. лесотехн. акад..2015. 210. С. 25–36.
2. *Люри Д.И., Горячкин С.В., Короваева Н.А. и др.* Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 426 с.
3. *Москаленко С.В., Бобровский М.В.* Расселение лесных видов растений из старовозрастных дубрав на брошенные пашни в заповеднике «Калужские засеки» // Изв. Самар. НЦ РАН. 2012. Т. 14. 1 (5). С. 1332–1335.
4. *Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А.* Изменение запасов углерода в постагрогенных экосистемах в результате естественного восстановления лесов в Костромской области // Лесоведение. 2015. 4. С. 307–317.
5. *Трубин Д.В.* Агрофорест: пашня и лес в неразрывной связи // Экопотенциал. 2016. 2 (14). С. 12–21.
6. *Телеснина В.М.* Постагрогенная динамика растительности и свойств почвы в ходе демутационной сукцессии в южной тайге // Лесоведение. 2015. 4. С. 293–306.
7. *Чибисов Г.А., Москалева С.А., Крыжановская Л.Е.* Качество древесины сосны и ели, метод его определения // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере. Сб. науч. тр. Архангельск: СевНИИЛх, 2005. С. 89–99.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования поддержаны грантом РФФИ и правительства Архангельской области № 17-44-290111.

УДК 631.445.25:546.16

ПОДВИЖНОСТЬ ФТОРИДОВ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ

А.М. НЕМЕРОВ[1], О.В. ТРЕФИЛОВА[2]

[1] Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия (aleksey_nemerov@rusal.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (ovtrefilova_ilsoran@mail.ru)

Для оценки подвижности фторидов проведено фракционирование минеральных форм фторидов с помощью последовательной обработки образцов почвы экстрагентами. Показано, что преобладающая часть минерального фтора как контрольного, так и испытывающего загрязнение участков находится в форме рыхлосвязанных соединений (водная и солевая вытяжки). При этом различия по абсолютным величинам концентрации между участками достигают 4–7 раз.

MOBILITY OF FLUORIDES IN FOREST SOILS OF THE SUBURB

A.M. NEMEROV[1], O.V. TREFILOVA[2]

[1] Krasnoyarsk state agricultural university, Krasnoyarsk, Russia (aleksey_nemerov@rusal.ru)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (ovtrefilova_ilsoran@mail.ru)

To estimate the fluorides mobility fractionation method has been used. It is shown that the prevailing part of mineral fluorine on the control, and pollution sites is in unstable form (water and salt extracts). At the same time, absolute values distinctions of concentration on sites reach 4–7 times.

Исследования проводятся в пригородной зоне г. Красноярска. Антропогенными источниками фторидов здесь выступают предприятия по производству алюминия, цемента, кирпича; электростанции, работающие на угле, и другие объекты.

Уровень накопления и последствия фторидного загрязнения почв по Красноярской группе районов активно изучаются [1–3 и др.]: получены оценки концентрации валового фтора (F) в почве и фракциях растений, определены воднорастворимые формы элемента в почве, водах ручьев и талого снега. Однако собранной информации недостаточно, чтобы сформировать представление о том, насколько «прочно» закрепляются постоянно поступающие порции техногенного фтора и каков риск увеличения степени подвижности фтора при изменении условий среды.

Цель настоящей работы сводилась к определению потенциальной подвижности фторидов как основного показателя для оценки риска загрязнения сопредельных сред.

Исследования основываются на сравнительной оценке фракционного состава минеральных форм фторидов в почве пригородных березовых приспевающих лесов, находящихся в зоне влияния промышленных выбросов фтора, ПП 1 (д. Есаулово), и условного контроля, заложенного в районе Академгородка (ПП 2). Содержание воднорастворимого фтора на ПП 1 достигает 1,5 ПДК, и степень химического загрязнения почв оценивается как «чрезвычайно опасная» [СанПиН 2.1.7.1287-03].

Образцы почвы и подстилки отбирались в 3-кратной повторности, минеральная часть почвы – послойно: 0–5, 5–10 и 10–20. Величины концентрации валового фтора в подстилках определялись по РД 52.24.360-2008, а в почве - ВМР по контролю загрязнения почв.

Для определения минеральных форм фторидов использован фракционный метод. Образцы почвы или подстилки последовательно обрабатывались следующими экстрагентами: дистиллированная вода, 1 М раствор хлористого аммония, 0,1 М раствор NaOH и 0,25 М раствор серной кислоты [4].

Первые две фракции служили для извлечения рыхлосвязанных фторидов (KF, NH_4F, $Mg(OH)_2$, $Mg_2(OH)_2CO_3$). Третья фракция (0,1 М раствор NaOH) извлекает F, сорбированный гидрооксидами алюминия и железа. Четвертая фракция (0,25 М раствор

серной кислоты) извлекает прочносвязанные фториды типа CaF_2, MgF_2, K_3AlF_6, Na_3AlF_6.

Концентрацию F в каждой из фракций определяли с помощью фтор-селективного электрода, используя буферный раствор общей ионной силы, в стандартный состав которого дополнительно вводили трилон Б и нитрат лантана.

Максимум накопления валового F приходится на органогенный горизонт. При переходе к минеральной части почвенного профиля концентрация валового F снижается в 2 раза и слабо меняется в пределах изучаемого слоя почвы (0–20 см). В целом полученные значения концентрации F в минеральной части почв укладываются в пределы величин, характерных для естественных почв, – 150–400 мг/кг [1, 4, 5].

Относительное содержание водорастворимого F минеральной части почв контроля не превышало 1–2 % и 4–11 % в зоне непосредственного влияния промышленных выбросов. Это согласуется с опубликованными данными [4–6].

Фтор почвы ПП 1 (д. Есаулово) на 51–73 % представлен минеральными формами. Примерно 40–50 % данного количества в верхней (0–20 см) толще – рыхлосвязанные соединения, это ближайший резерв подвижного фтора. От 40–49 % в верхних 0–10 см до 19 % минерального фтора в слое 10–20 см сорбируется гидрооксидами алюминия и железа. В отличие от загрязненного участка, относительная доля минерального фтора в почве контрольного (ПП 2) не превышает 17–28 %. Преобладающая часть содержится в рыхлосвязанном состоянии (45–72 %). С глубиной доля прочносвязанных соединений фтора возрастает.

Таким образом, несмотря на то, что по валовому содержанию F верхний слой почв пригородной зоны г. Красноярска не отличается от ненарушенных аналогов, содержание минерального фтора в таких почвах выше в 4–7 раз. Преобладающая часть минерального фтора верхней (0–10 см) толщи как контрольной, так и загрязненной почвы закрепляется в составе рыхлосвязанных соединений. При этом относительное количество таких соединений с глубиной убывает. Роль прочной сорбции возрастает, что, вероятно, указывает на наличие геохимического барьера.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Танделов Ю.П.* Фтор в системе почва – растение. Красноярск, 2012. 146 с.
2. *Коловский Р.А., Бучельников М.А.* Мониторинг загрязнения заповедника «Столбы» фтором // Сиб. экол. журн. 2008. №3. С. 507–513.
3. *Скрипальщикова Л.Н., Татаринцев А.И., Зубарева О.Н., Перевозникова В.Д., Стасова В.В., Грешилова Н.В.* Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 179 с.
4. *Конарбаева Г.А.* Минеральные формы фторидов в солонцах и прочность их связи с почвой // Сиб. экол. журн. 1998. № 6. С. 613–617.
5. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
6. *Кремленкова Н.П., Гапонюк Э.И.* Изменение состава гумуса и ферментативной активности почв под влиянием фторида натрия // Почвоведение. 1984. № 11. С. 73–76.
7. *Евдокимова Г.А., Зенкова И.В., Мозгова Н.П., Переверзев В.Н.* Почва и почвенная биота в условиях загрязнения фтором. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2005. 135 с.

УДК 630*561.24: 630.18

ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ (BLUE INTENSITY) ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ЛИСТВЕННИЦЫ И СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ НА АЛТАЕ

Д.В. ОВЧИННИКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (dovch@mail.ru)

Рассмотрена согласованность комбинированной (на основе максимальной и оптической плотности) хронологии с климатическими трендами на Алтае. Выделены основные цикличности, характеризующие ряды данных. Обсуждается усиление влияния минимальных температур теплого периода после 1950-х годов.

CHANGES OF THE BLUE INTENSITY OF TREE-RINGS OF LARCH AND RECENT CLIMATIC TRENDS IN ALTAI

D.V. OVCHINNIKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (dovch@mail.ru)

The consistency of the combined (based on maximum and optical density) chronology with climate trends in Altai is considered. The main cyclicities of the data series are highlighted. The influence of the minimum temperatures of the warm period after the 1950s is discussed.

Последние годы ведется активный поиск и апробирование новых параметров структуры годичных колец деревьев, обладающих высоким потенциалом для реконструкции климата, сопоставимых по своим свойствам с таким показателем, как максимальная плотность древесины годичных колец. Одной из альтернатив, нашедших широкое применение в настоящее время, является *Blue Intensity* (**BI** – интенсивность поглощения в голубом спектре), или *оптическая плотность*. Наиболее широко отражены исследования, основанные на оптической плотности, в области дендроклиматологии. Пример работы в области датировки археологических объектов, основанной на оптической плотности (BI), – исследование В.С. Мыглана с соавторами, посвященное датированию памятников деревянного зодчества Сибири [1]. Ряд российских исследований, основанных на оптической плотности годичных колец, посвящен реконструкциям температур июня – сентября на Северном Кавказе [3] и реконструкциям засух на Восточно-Европейской равнине по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным [2]. Скромный вклад в популяризацию использования оптической плотности вносят и исследования авторов [4].

В течение 2017–2018 годов были проведены экспериментальные и теоретические исследования, включающие сбор кернов лиственницы сибирской *(Larix sibirica* Ldb.*)* на Алтае (Северо-Чуйский хребет, Республика Алтай) с целью увеличения репликации измерений для отдельных периодов и продления хронологии по оптической плотности. Сбор кернов был осуществлен в период июля – августа, отобрано 42 керна лиственницы с верхнего предела лесной растительности, абсолютные высоты – 2000–2200 м над уровнем моря. Длительность хронологии по оптической плотности на данный момент времени составляет 307 лет.

Дендроклиматический анализ (на основе функций отклика). Результаты предварительных исследований ширины и максимальной плотности годичных колец лиственницы, а также измерений оптической плотности показали высокую связь данных показателей друг с другом. Все три хронологии тесно связаны с температурами теплого периода, но при этом выделяются следующие особенности: вклад климатических переменных в изменчивость хронологии по ширине годичных колец изменяется в пределах от 43 до 50 %; оптической плотности – 30–36 %; максимальной

плотности – более 50 %. Различия заключаются в отклике индексов хронологий на отдельные месяцы. Так, хронология по ширине годичных колец коррелирует с температурами июня – июля (коэффициент корреляции достигает +0,7); хронология по оптической плотности – с температурами мая, июня и августа (коэффициент корреляции достигает +0,6); хронология по максимальной плотности – с температурами июня – августа (коэффициент корреляции достигает +0,8) и в несколько меньшей степени мая – августа (коэффициент корреляции достигает +0,67).

На основе максимальной и оптической плотности была рассчитана и построена комбинированная хронология. Совместное использование данных параметров позволило усилить связь индексов комбинированной хронологии с температурами мая и августа. Статистические оценки функций отклика комбинированной хронологии на температуры с мая по август следующие: коэффициент множественной корреляции R= 0,65-0,68; коэффициент детерминации R^2= 0,4-0,46; критерий Фишера $F_{(4,63)}$=11,86 и $F_{(1,66)}$ =58,0; p = 0,0001.

Для оценки связи с климатом использованы комбинированная хронология и ежемесячные климатические значения в ячейках 0,5 ° × 0,5 ° данных CRU TS 3,23 (для региона с координатами 48–52° с. ш. и 86–90° в. д). Связь комбинированной хронологии с минимальной температурой теплого периода (май – август) положительная, устойчивая и статистически значимая. Вероятно, высокие минимальные температуры в мае, в начале сезона роста, и в дальнейшем благоприятно сказываются на формировании структуры годичных колец. Связь хронологии с минимальными температурами мая заметно усиливается во второй половине XX века, что косвенно подтверждается высокой корреляцией индексов хронологии и высокими минимальными температурами мая – августа в сравнении с разными периодами (1901–1951) и (1952–2014). Дополнительной иллюстрацией данного предположения является высокая корреляция (+0,6) комбинированной хронологии с вегетационным индексом NDVI. Косвенно это может свидетельствовать о том, что вегетационный период в исследуемом регионе Алтая действительно стал продолжительнее.

Комбинированная хронология хорошо согласуется с другими исследованиями, проведенными ранее для Алтая [5], и отражает изменения приземной температуры воздуха. Все данные показывают наличие внутривековой цикличности. Отличия заключаются в выраженности низкочастотных изменений и особенно в тренде современного потепления за последние 100–150 лет. Фактические наблюдения на метеостанции Барнаул показывают положительный тренд изменений летней температуры начиная с середины XIX века, в то время как индексы комбинированной хронологии близки к нулевому тренду последние 40 лет.

Таким образом, комбинированная хронология в течение последних 150 лет показывает положительную связь с температурами теплого периода (май – август), особенно с минимальными температурами. Роль минимальных температур, особенно мая, возрастает после 1950 года, и это косвенно может свидетельствовать о том, что вегетационный период в исследуемом регионе Алтая становится продолжительнее. Комбинированная хронология в целом отражает как региональные, так и глобальные климатические тренды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мыглан В.С., Жарников З.Ю., Сидорова М.О., Баринов В.В., Тайник А.В.* Применение метода blue intensity для датирования памятников деревянного зодчества Сибири // Археология, этнография и антропология Евразии. 2018. 46 (4). С. 109113.
2. *Соломина О.Н. и др.* Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. СПб.: Нестор-История, 2017. 360 с.

3. *Dolgova E.* June–september temperature reconstruction in the northern Caucasus based on blue intensity data // Dendrochronologia. 2016. 39: 17–23.
4. *Ovchinnikov D., Eremina A., Ovchinnikov S.* Blue intensity in *Larix sibirica* L. tree rings as a new paleoclimate proxy in Altai, Russia // Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, Albena, Bulgaria, 30 June – 9 July, STEF92 Technology Ltd. 2018. 18 (3): 741–748.
5. *Sidorova O.V., Siegwolf R.T.W., Myglan V.S., Ovchinnikov D.V., Shishov V.V., Helle G., Loader N.J., Saurer M.* The application of tree-rings and stable isotopes for reconstructions of climate conditions in the Russian Altai // Climatic Change. 2013. 120 (1–2): 153–167.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ № 17-05-01190 «Длительные изменения летней температуры воздуха и абляции (таяния) ледников Алтая по данным оптической плотности древесины».

УДК 630*181.1: 630*228.8

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА ДИНАМИКУ ГУСТОТЫ И РОСТ ДРЕВОСТОЯ НА ПОСТОЯННОЙ ПРОБНОЙ ПЛОЩАДИ

Н.Ф. ОВЧИННИКОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (nf@ksc.krasn.ru)

С помощью специального анализа данных долговременного мониторинга (1968–2012 гг.) закартированной древесной растительности на постоянной пробной площади показано влияние рельефа на динамику густоты и рост древостоя. Характерный для горных лесов тип размещения деревьев необходимо учитывать при исследовании, моделировании лесных экосистем и проведении лесохозяйственных мероприятий.

THE EFFECT OF RELIEF ON STAND DENSITY AND GROWTH DYNAMICS ON PERMANENT SAMPLE PLOT

N.F. OVCHINNIKOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (nf@ksc.krasn.ru)

With the help of the mapped woody plants special long-term monitoring (1968–2012) data analysis is shown the effect of relief on stand density and growth dynamics. Typical for the mountain forests spatial pattern, influencing their morphology, must be considered in researches, forest ecosystem modelling and forestry.

Достаточно разработанной единой количественной теории возрастной динамики популяций древесных растений не существует. Пространственная структура и рост древостоя имеют достаточно длительную историю исследований, однако еще не нашли принципиального решения [4, 9]. Хотя анализ древесных ценозов в пространственном отношении имеет не только частное теоретическое и практическое, но и общебиологическое значение, это является довольно сложной задачей [7]. Одна из существующих гипотез – становление пространственно-возрастной структуры древесных ценозов в рамках онтоценогенеза в ценоячейках, где развитие особей синхронизировано. Однако объем пространства, площадь синхронизации, соизмерим с расстоянием, на котором сказывается влияние одной особи на другую. Когда пространство превышает радиус индивидуального влияния, причины, синхронизирующие фазы динамики удаленных друг от друга особей, могут лежать только вне сообщества [2, 3, 6].

Теснота связей между растительностью и средой увеличивается при переходе от отдельных факторов к их комплексу. Но, к сожалению, учет всего набора факторов среды возможен скорее теоретически, хотя гипотеза зависимости растительного покрова от условий среды давно выдвинута [5, 8] и рассматривается в связи с вопросами континуума и дискретности (квантовости) растительного покрова [3]. Связь рельефа с растительностью давно известна на градиентах большого масштаба [5, 8] и должна учитываться на малых площадях [3, 6].

На постоянной пробной площади на южном склоне 7–8° в низкогорной части Восточного Саяна, в окрестностях г. Красноярска, изучен рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth). Получены таксационные показатели древостоя в возрасте 42–86 лет (табл. 1). Объем ствола каждого закартированного дерева вычислялся с учетом Общесоюзных нормативов для таксации лесов [1]. В составе древостоя по запасу стволовой древесины доли сосны и лиственницы практически не менялись за годы наблюдений. Отмечено малое (1–2 %), но стабильное участие березы.

Уже при закладке пробной площади в 1968 г. наблюдалась сильная дифференциация стволов по высоте и диаметру. Коэффициенты варьирования у сосны составляли, соответственно, 36 % и 24 %, а у лиственницы – 44 % и 36 %. За период наблюдений до 2012 г. погибло почти 60 % деревьев сосны и 30 % лиственницы, преимущественно за счет отставших в росте особей. Наблюдалась гибель и отдельных крупных деревьев. Доля лиственницы и березы в отпаде не превышала 13 %.

В первый учет проявилась пространственная неоднородность в размещении деревьев вдоль склона, которая явилась причиной различий возрастной динамики таксационных показателей на различных равновеликих участках пробной площади (рис. 1).

Таблица 1. Динамика таксационных параметров древостоя на постоянной пробной площади (деревья живые – в числителе, отпад – в знаменателе)

Средний возраст, лет	Густота, тыс. шт./га	Состав по густоте, %	Средний диаметр, См	Средняя высота, м	Площадь сечений, $м^2$	Запас, $м^3$/га	Состав по запасу, %
42	2,6 0,4	89С9Л2Б 100С	13,0 6,7	13,8 7,5	35,3 1,3	243,1 5,7	92С6Л2Б
51	2,1 0,5	88С10Л2Б 95С2Л 3Б	15,7 8,9	18,4 11,8	41,6 3,0	363,1 18,3	92С6Л2Б
64	1,6 0,5	86С12Л2Б 94С4Л2Б	19,0 10,7	22,3 15,2	46,2 4,8	473 35,5	92С6Л2Б
71	1,5 0,1	85С13Л2Б 87С3Л 10Б	20,9 11,3	23,5 15,.4	50,6 1,6	543,2 11,7	92С7Л1Б
86	1,2 0,3	85С13Л2Б 88С11Л1Б	24,7 14,4	25,4 19,0	55,1 5,3	631,6 47,8	92С7Л1Б

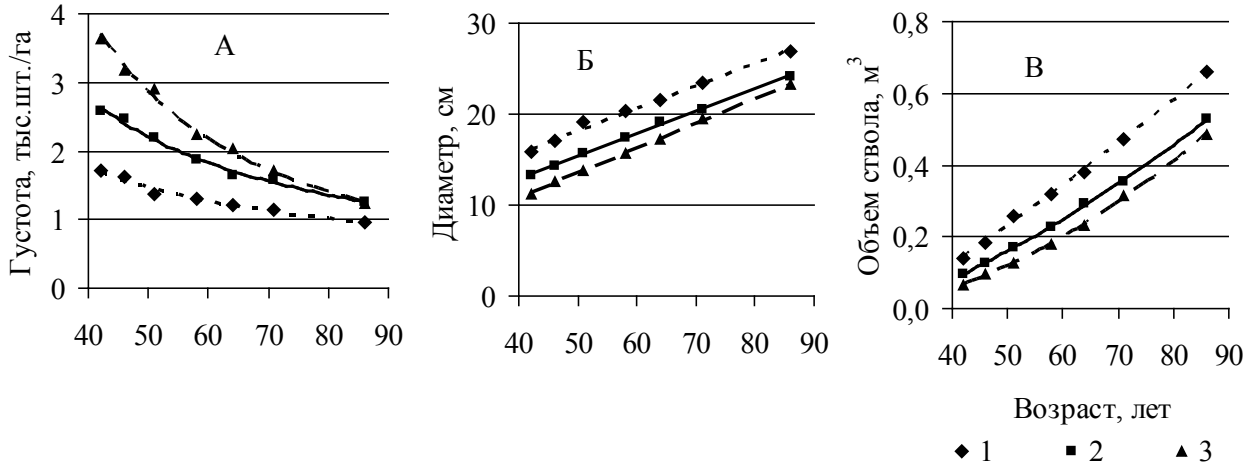


Рис. 1. Динамика густоты древостоя (А), среднего диаметра (Б) и среднего объема ствола (В) на разных участках постоянной пробной площади по склону: 1 – нижний, 2 – центральный, 3 – верхний

Если густоту древостоя на нижнем участке постоянной пробной площади на склоне принять за единицу, то на центральном участке этот относительный показатель в возрасте 42 года составлял 1,5, а на верхнем – 2,1 (рис. 1А). Разница в густотедревостоя наблюдалась и в последующие годы: на центральном участке в возрасте 51 год – 1,6, в 64 и в 71 год – 1,4, а на верхнем, соответственно, 2,1, 1,7 и 1,5. К последнему учету в 2012 г., несмотря на общее снижение густоты древостоя в 2,3 раза,

различие в густоте древостоя хотя и сократилось, но оставалось на уровне примерно 30 % между верхним и нижним по склону участками.

Повышенная густота древостоя на центральном и верхнем участках в наибольшей степени сказалась на росте деревьев в толщину. Это различие наблюдалось почти 30 лет. И только к последнему учету, когда густота древостоев на центральном и верхнем участках выровнялась, средние диаметры деревьев на этих участках стали иметь близкие значения (рис. 1Б). Существенное влияние пространственной неоднородности в размещении деревьев на площади сказывалось и на среднем объеме стволов деревьев (рис. 1В). В 42-летнем древостое этот показатель на нижнем участке превышал средний объем деревьев на центральном участке на 40 %, а на верхнем – в 2 раза. С увеличением возраста древостоя это различие составляло 20–26 %. Сумма площадей поперечного сечения стволов и запас древостоя на разных участках отличались еще меньше.

При исследовании горных лесных экосистем, моделировании и проведении лесохозяйственных мероприятий необходимо учитывать изменение густоты древостоя при пространственной неоднородности в размещении деревьев на площади и обратную зависимость поперечного сечения и объема ствола среднего дерева от густоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Загреев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалев А.Г.* Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М.: Колос, 1992. 495 с.
2. *Ипатов В.С., Кирикова Л.А.* Фитоценология. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1997. 316 с.
3. *Кирпотин С.Н.* Морфолого-геометрический подход к изучению пространственной структуры природных тел: от организма до ландшафта. Томск: Изд-во Том.ун-та, 2005. 254 с.
4. *Кузьмичев В.В*. Закономерности динамики древостоев. Новосибирск: Наука. 2013. 208 с.
5. *Морозов Г.Ф.* Отрывочные заметки из лекций по Общему Лесоводству // Лесной журнал. 1918. Вып. 6–8. С. 154–184.
6. *Овчинникова Н.Ф., Овчинников А.Е.* Динамика структуры осинового древостоя в черневом поясе Западного Саяна // Лесоведение. 2016. № 6. С. 418–425.
7. *Сеннов С.Н.* Уход за лесом (экологические основы). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 128 с.
8. *Сукачев В.Н*. Избранные труды / под ред. Е.М. Лавренко. Т. I: Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, 1972. 418 с.
9. *Pretzsch H.* Forest Dynamics, Growth and Yield. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. 664 p.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор благодарен д. б. н., профессору В.В. Кузьмичеву за предоставленные архивные материалы, к. ф.-м. н. О.П. Секретенко и студентам Сибирского федерального университета А. Кравченко и Е. Мельниковой за помощь в получении новых данных в 2012 г.

630.6

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕХОДА К УСТОЙЧИВОМУ УПРАВЛЕНИЮ ЛЕСАМИ В СИБИРИ

А.А. ОНУЧИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (onuchin@ksc.krasn.ru)

В работе рассматриваются перспективы, а также институциональные и экономические проблемы перехода лесного хозяйства Сибири к устойчивому управлению лесами. Констатируется нарастающий комплекс проблем в управлении лесным сектором, связанный с восстановлением лесов, возрастающим дефицитом лесных ресурсов и снижением биосферных функций лесных экосистем. Обсуждаются возможные варианты решения проблем, назревших в лесном комплексе Сибири.

THE STRATEGIC GOALS OF TRANSITION TO SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT IN SIBERIA

A.A. ONUCHIN

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (onuchin@ksc.krasn.ru)

This paper deals with the prospects, as well as institutional and economic problems of the transition of forestry in Siberia to sustainable forest management. The growing complex of problems in forest sector management associated with the reforestation, increasing shortage of forest resources and the decline in the environmental functions of forest ecosystems is stated. Possible approaches of solutions to the problems existing in the forest complex of Siberia are discussed.

Экстенсивная модель развития лесной отрасли страны, в том числе и Сибири, а также принятие в 2006 г. нового Лесного кодекса, в котором понятие «лесное хозяйство» исчезло, привели к негативным изменениям в структуре лесного фонда и к дефициту качественного сырья, востребованного предприятиями лесного комплекса. Со второй половины XX века доля площадей, занятых наиболее ценными спелыми и перестойными насаждениями, сократилась в 1,4 раза, несмотря на достаточно большие объемы лесовосстановительных мероприятий. Это снижение происходит в основном за счет интенсивно вырубаемых хвойных древостоев, лесных пожаров и распространения очагов насекомых-вредителей (болезней), а восполнение выбываемых запасов леса спелыми и перестойными хвойными древостоями происходит только на 1/3 [1, 2, 3, 4]**.** Следует отметить, что негативные изменения в структуре лесного фонда естественны для периода пионерного освоения лесов, они наблюдались и продолжают наблюдаться, помимо России, и в ряде других государств. Переход к системе устойчивого управления лесами происходит по мере достижения определенного уровня соответствия природно-экономических условий структуре востребованных продуктов и услуг, производимых в регионе. В далеком прошлом большая часть Западной Европы тоже была сплошь покрыта лесами, но в настоящее время лесистость ее территории относительно невысока. Однако здесь сформирована оптимальная структура лесного фонда, которая позволяет в полной мере реализовать на практике соблюдение принципов устойчивого управления лесами на уровне, отвечающем экономическим и социальным интересам западноевропейских стран. Поэтому несмотря на высокую продуктивность лесов в большинстве стран Западной Европы использование земель для других целей в большей мере отвечает интересам этих стран, позволяя импортировать лесную продукцию из других регионов. Необходимо понимать, что соблюдение принципов устойчивого управления лесами должно быть продиктовано экономической и экологической целесообразностью, основанной на точных прогнозных оценках конъюнктуры рынка лесной продукции и стоимости экосистемных услуг. В Сибири значительные площади земель с большим экономическим эффектом могут применяться для лесовыращивания, нежели использоваться для других целей. Очевидно, что в ближайшей перспективе продолжающаяся деградация лесных ресурсов

Сибири окажет негативное влияние на состояние лесного комплекса и заставит нас трезво оценить преимущества устойчивого управления лесами, не допуская просчетов в лесной политике, которые приведут к потерям доходов от экспорта лесной продукции и обострению дефицита лесных ресурсов на внутреннем рынке. Возникает вопрос, насколько в настоящее время возможен и актуален переход лесного хозяйства Сибири к устойчивому управлению лесами.

Несмотря на признание на государственном уровне необходимости реорганизации лесоуправления в России с целью повышения эффективности функционирования лесного комплекса, среди субъектов лесных отношений нет согласованных подходов относительно решения данной проблемы [5]. Это касается платежей за древесину, прав собственности на леса, правового регулирования отношений, связанных с использованием лесов на землях лесного фонда и землях иных категорий. Кроме того, субъекты лесных отношений по-разному оценивают временные горизонты формирования лесной политики, которые в ближайшем и отдаленном будущем позволят избежать просчетов, чреватых экономическими и экологическими рисками в связи с несовершенством действующей системы лесопользования.

Для безболезненного перехода России к устойчивому управлению лесами в ближайшей перспективе лесной отрасли Сибири необходимо ориентироваться на более широкое внедрение модели интенсивного использования и воспроизводства лесов, которая предполагает повышение продуктивности лесов и комплексное использование лесных ресурсов. Такой подход невозможен без широкого применения достижений лесной науки, новейших технологий и технических средств. Особое внимание в связи с этим должно уделяться созданию опытных хозяйств, в которых должны апробироваться передовые технологии. Однако попытки Рослесхоза возродить интенсивное лесное хозяйство без возрождения лесоустройства, базирующегося на экономических расчетах и лесном планировании, закончатся неудачей.

Залогом успешного воспроизводства лесов и предотвращения их деградации может стать грамотное лесовосстановление, которое на сегодняшний день является наиболее трудной хозяйственной задачей. В Сибири основным способом успешного лесовосстановления правомерно считается естественное возобновление. Предпосылкой тому является высокий возобновительный потенциал хвойных лесов, реализуемый либо за счет сохранения молодого поколения леса при рубках главного пользования, либо за счет мер содействия естественному возобновлению.

Анализ опыта искусственного восстановления лесов свидетельствует о том, что созданные лесные культуры часто гибнут в результате различных факторов и потом вновь создаются на той же самой площади. Порой такие итерации повторяются по нескольку раз без реального приращения площади создаваемых лесов. Высокие количественные показатели создания лесных культур сводятся на нет отсутствием должных уходов и последующей гибелью культур. Лесные культуры – это дитя лесоводов, и они не могут быть брошены на произвол судьбы в отличие от естественного возобновления, которое не требует такого тщательного ухода, поскольку изначально имеет место существенная дифференциация всходов и самосева в силу микроклиматических и почвенных условий, обеспечивающая раннее выявление растений-лидеров и снижение остроты конкуренции. В культурах растения находятся примерно в одинаковых условиях, и со временем конкурентная борьба равных по энергии роста экземпляров приводит к снижению общей продуктивности древостоя.

Практика лесопользования последних десятилетий показывает, что при переводе несомкнувшихся лесных культур или естественно сформированных молодняков в категорию хозяйственно ценных должен быть еще один период, в течение которого проверяется успешность формирования лесов целевого состава. В условиях Сибири этот период в зависимости от лесорастительных условий занимает до 30–50 лет. Однако культур в таком возрасте очень мало. Даже в европейской части России доля лесных культур старше 40 лет

составляет всего 5 % от их общей площади, следовательно, примерно ¾ созданных культур гибнут, не достигнув этого возраста [1].

С учетом вышесказанного можно сделать вывод, что действующая практика искусственного восстановления лесов путем создания лесных культур не оказывает существенного влияния на динамику лесов в регионе.

Изменить ситуацию с созданием лесных культур, особенно с переходом к модели интенсивного использования и воспроизводства лесов, можно за счет грамотного планирования лесокультурных мероприятий, сосредоточив их в соответствующих лесорастительных условиях, применяя высокотехнологичные приемы с минимизацией ручного труда, которые обеспечат высокую экономическую эффективность лесохозяйственных мероприятий. Объемы финансовых и материальных вложений в лесовосстановление должны быть оправданы последующей отдачей повышения продуктивности и экосистемных услуг целевых насаждений.

Интенсивная модель лесопользования является частью системы устойчивого управления лесами. Такая система должна базироваться на гармоничном сочетании интенсивной и экстенсивной моделей лесопользования. Начать следует с зонирования территории. По экспертным оценкам, доля лесов интенсивной формы ведения хозяйства в Сибири составляет 10–15 % от площади лесного фонда. В них можно заготавливать от 45 до 60 % от общего объема потребной лесной продукции. В лесах экстенсивной формы ведения хозяйства, доля которых составляет от 25 до 30 %, объемы лесозаготовок исчисляются 35–45 %. Суммарная площадь защитных и резервных лесов может достигать 50–60 %, а объемы лесозаготовок не должны превышать 10 %. За счет реализации модели интенсивного использования и воспроизводства лесов в перспективе можно не только увеличить объемы лесозаготовок в регионе, но и уменьшить антропогенный пресс на леса, выполняющие важнейшие биосферные функции, сохранить их экологический потенциал и биологическое разнообразие.

Необходимо формирование и проведение лесной политики, соответствующей государственным интересам, учитывающей длительный жизненный цикл лесных экосистем, а не сиюминутные интересы отдельных корпораций и ведомств. В краткосрочной перспективе интенсификация лесопользования может быть обеспечена в основном за счет вовлечения в хозяйственный оборот низкотоварной древесины посредством ее глубокой переработки. В долгосрочной перспективе решение проблемы снабжения лесопромышленного комплекса сырьем должно решаться за счет повышения продуктивности лесов лесохозяйственными мероприятиями, включающими использование методов плантационного лесовыращивания, эффективную охрану и защиту лесов. Этот путь может обеспечить удовлетворение спроса на древесную продукцию высокого качества, которая всегда будет востребована.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кашпор Н.И.* Воспроизводство лесов: состояние и перспективы // Российская лесная газета. 2006. № 18–19. С. 6.
2. *Исаев А.С., Коровин Г.Н.* Актуальные проблемы национальной лесной политики. М.: Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России, 2009. 108 с.
3. *Соколов В.А.* Перспективы развития лесного комплекса Сибири // Сиб. экол. журн. 2008. № 3. С. 361–369.
4. *Онучин А.А., Соколов В.А., Втюрина О.П.* Перспективы интенсификации лесного хозяйства в Сибири // Лесное хозяйство. № 6. 2010. С. 11–12.
5. *Государственный* совет Российской Федерации. Доклад по увеличению эффективности и развитию лесного сектора на период до 2030 года. М., 2013. 194 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена за счет средств базового проекта ИЛ СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН (проект № 0356-2019-0027).

УДК 504.064.36

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ КОСТОМУКШСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА

М.Г. ОПЕКУНОВА, С.Ю. КУКУШКИН, И.Ю. АРЕСТОВА, Е.Ю. ЕЛСУКОВА

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия (m.opekunova@mail.ru)

По результатам проведенных исследований в районе воздействия Костомушкского горно-обогатительного комбината сделан вывод о недостаточности использования результатов только химического анализа содержания металлов в почвенном покрове. Необходимо проводить оценку риска загрязнения по всему ряду индикаторных видов растений.

BIOGEOCHEMICAL CRITERIA OF RISK ASSESSMENT FOR FOREST ECOSYSTEMS POLLUTION IN KOSTOMUKSH STATE NATURE RESERVE

M.G. OPEKUNOVA, S.Yu. KUKUSHKIN, I.Yu. ARESTOVA, E.Yu. ELSUKOVA

Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia (m.opekunova@mail.ru)

According to the results of the research conducted in the area of impact of the Kostomushk mining and processing plant, the conclusion was drawn about the insufficiency of using the results of only chemical analysis of the content of metals in the soil cover. Pollution risk assessment should be carried out using all of the indicator species.

Территории вокруг рудных месторождений вызывают пристальное внимание специалистов-экологов в связи с поступлением загрязняющих веществ во все компоненты экосистем на всех стадиях их разработки и эксплуатации. Одним из таких объектов, расположенных в зоне северной тайги, является Костомукшский горно-обогатительный комбинат (КГОК), эксплуатирующий месторождение железистых кварцитов.

Костомукшское месторождение железистых кварцитов располагается в Калевальском районе Республики Карелия, является крупнейшим по запасам на Северо-Западе России и разрабатывается с 1982 г. предприятием ОАО «Карельский окатыш». Добыча руды достигает в среднем около 30,6 млн т/год, производство железных окатышей – около 10 млн т/год. При этом аэротехногенные выбросы SO_2 предприятия составляют приблизительно 30 тыс. т/год, пыли – 7–8 тыс. т/год [2].

Исследования, связанные с воздействием выбросов КГОК на различные компоненты окружающей среды, ведутся практически с начала активной деятельности комбината. С начала 1980-х годов в районе проводятся исследования Институтом леса и Институтом водных проблем Севера Карельского НЦ АН СССР, работают научные коллективы С.-Петербургского Горного института, СПбГУ и др. По результатам работ опубликовано большое количество статей и монографий, защищены диссертации.

Однако основной упор во всех работах делается на фиксацию существующего загрязнения среды без уделения особого внимания вопросам трансформации потоков загрязняющих веществ в ландшафтах. Между тем именно изменение принципов аккумуляции и распределения по различным компонентам среды таких веществ, как тяжелые металлы (ТМ), может позволить оценить реальную опасность деградации природных экосистем в будущем даже при незначительных концентрациях металлов в настоящий момент. В качестве индикатора происходящих подобных изменений удобно использовать растительность, так как она тесно связана со всеми компонентами ландшафта и быстро реагирует на происходящие в нем изменения. При этом необходимо учитывать, что одна и та же реакция растений возможна как на

антропогенные загрязнения среды, так и на естественные колебания геохимического фона.

Для выявления существующих потоков тяжелых металлов в ландшафтах в районе г. Костомукша летом 2018 г. проводились исследования на нескольких участках, характеризующихся разной степенью нарушенности природных экосистем. В качестве фоновых использовались площадки, расположенные на территории Костомукшского заповедника (возле). Антропогенное воздействие оценивалось на участках, расположенных на территории самого КГОКа и в г. Костомукша.

Пробоотбор почв осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83. На каждой площадке методом конверта отбирались пробы почв из горизонтов О (0–10 см) и BF (15–25 см). Для анализа вертикальной и латеральной миграции ТМ в почвах на ключевых участках были заложены и изучены почвенные разрезы, пробы из которых отбирались по каждому горизонту. Для анализа миграции металлов из почв в растительность на большинстве площадок проводился отбор проб корки сосны *Pinus silvestris* L. Определение подвижных форм проводили с использованием почвенной вытяжки аммонийно-ацетатным буфером (pH=4,8) на атомно-абсорбционном спектрометре NOVAA-315. Анализ валового содержания тяжелых металлов в почвах и содержания металлов в растениях проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе «ELAN-6100 DRC» с полным кислотным разложением проб по ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98.

Анализ кислотности почв показал, что для всех естественных почв района работ актуальная кислотность находится в пределах от 3,47 до 6,39 единиц pH, а потенциальная – в пределах от 2,87 до 5,75. Высокие показатели кислотности характерны для поверхностных горизонтов. Среднее значение pH_{H2O} равно 4,87, pH_{KCl} – 3,97.

Результаты анализа валового содержания ТМ в почвах на территории заповедника Костомукшский показали, что Mn и Zn сосредоточены преимущественно в верхних горизонтах, а Fe, Ba, Ni и Cr в иллювиальных. При этом следует отметить, что содержание Fe превышает значение регионального фона.

Анализ валового содержания ТМ в почвах города и в районе КГОКа позволяет сделать вывод об интенсивной аккумуляции большинства изученных металлов в поверхностных горизонтах по сравнению с почвами заповедника. При этом концентрации Zn, Ni и Ba превышают значения ОДК. Для Zn такие превышения фиксируются на большинстве изученных площадок, в отдельных случаях ОДК по Zn превышен более чем в 3,5 раза. Максимальные концентрации Ni отмечены на площадках на КГОКе – превышение ОДК более чем в 2 раза.

При анализе распределения валовых содержаний ТМ в почвенных разрезах вблизи КГОКа отмечено изменение в характере аккумуляции некоторых металлов по горизонтам почвы. Так, если в почвах заповедника Cd, Pb, Fe накапливаются в нижних (иллювиальных) горизонтах, то под действием техногенного загрязнения отмечается увеличение содержания этих металлов в поверхностном (аккумулятивном) горизонте. Накопление Mn и Zn в почвах имеет неустойчивый характер и зависит от положения в рельефе. Для остальных металлов характерно быстрое вымывание из поверхностных горизонтов и накопление именно в нижележащих иллювиальных горизонтах.

Анализ концентраций подвижных форм ТМ в почвах Костомукшского заповедника показал, что содержание Mn, Zn, Cd, Pb и Ni в поверхностных горизонтах выше, чем в иллювиальных. Обратная картина наблюдается для Co, Cr и Fe, что может указывать на влияние подстилающих пород. На исследованной территории почвы характеризуются повышенной кислотностью, которая оказывает влияние на подвижность металлов. По подвижным формам превышение ПДК отмечается в

поверхностных горизонтах для Mn, Zn и Pb, а для Cu – во всех горизонтах. Повышенное содержание Fe в горизонте В связано с характером подстилающей поверхности. Степень подвижности ТМ зависит от формы рельефа, а также от почвенного горизонта. В поверхностных горизонтах исследованных почв подвижность элементов выше, чем в иллювиальных. Это может быть обусловлено влиянием атмосферных осадков, а также возможным аэротехногенным переносом [1].

Анализ содержания ТМ в корке сосны обыкновенной *Pinus sylvestris,* выполненный как для растений, произрастающих в Костомукшском заповеднике, так и для произрастающих в черте города и на территории КГОКа, показал существенные различия в накоплении металлов в растениях фоновых и нарушенных территорий. Установлено, что в естественных условиях концентрация ТМ значительно ниже кларковых показателей. Однако интенсивная горнодобывающая деятельность Костомукшского ГОКа влечет за собой значительные изменения химического состава компонентов геосистем. Загрязнение природной среды в зоне воздействия комбината индицируется увеличением содержания всех ТМ в растениях. В зоне влияния комбината концентрации многих металлов превышают локальный биогеохимический фон в десятки раз. Анализ проб корки сосны, отобранных на территории детских садов в г. Костомукша, показал превышение концентрации Cd, Zn, Pb и Ni над кларком соответственно в 9–21; 1,5–2; 4–7 и 1,5–6,5 раза. Концентрации Mn и Cu в корке сосны на этих площадках ниже кларка.

Такие превышения фоновых значений в почвах и корке сосны могут быть как связаны с влиянием непосредственно техногенной деятельности (КГОК, городская инфраструктура), так и зависеть от изменений общих физико-химических условий произрастания растений. Таким образом, можно сделать вывод, что для точной оценки риска загрязнения лесных экосистем с учетом ландшафтно-геохимических особенностей региона необходимо проведение дальнейших исследований с использованием широкого спектра видов растений – представителей различных жизненных форм.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арестова И.Ю., Опекунова М.Г., Елсукова Е.Ю., Кукушкин С.Ю.* Мониторинговые исследования растительных сообществ Костомукшского заповедника // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: материалы V Междунар. науч. конф., Минск – Беловежская Пуща, 8–12 октября 2018 г. Минск: Колорград, 2018. С. 13–15.
2. *Пантелеева Я.Г.* Геохимические изменения окружающей среды в зоне влияния горнопромышленного комплекса ОАО «Карельский окатыш»: автореф. дисс. … к. г.-м. н: 25.00.09. СПб., С.-Петерб. гос. гор. ин-т им. Г.В. Плеханова, 2009. 20 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00217.

УДК: 160.501 / 160.504

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ И ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕНОСА В ВОДОСБОРНОМ БАССЕЙНЕ РУЧЬЯ КУЛИНГДАКАН

Л. ОРГОГОЗО[1], А.С. ПРОКУШКИН[2], О.С. ПОКРОВСКИЙ[1, 3], К. ГРЕНЕ[4], М. КИНТАР[5, 6], Ж. ВИРС[1], С. ОДРИ[1]

[1] GET (Géosciences Environnement Toulouse, Лаборатория наук о Земле и окружающей среде Тулузы), Тулуза, Франция (laurent.orgogozo@get.omp.eu)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия
[3] Лаборатория биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды (BIO-GEO-CLIM), Томск, Россия
[4] LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Лаборатория наук климата и окружающей среды), Жиф-сюр-Иветт, Франция
[5] IMFT (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, Институт механики жидкости Тулузы), Тулуза, Франция
[6] CNRS, IMFT, Тулуза, Франция

Эвапотранспирация растений – важнейший параметр, контролирующий динамику гидрологического и теплового режима почв на водосборных бассейнах зоны бореальных лесов. В частности, в криолитозоне эвапотранспирационные потоки оказывают существенное воздействие на мощность сезонно-талого слоя, главным образом из-за их влияния на содержание влаги в верхних горизонтах почвенной толщи. Эти многофакторные процессы определяются не только климатическими особенностями региона, но и физическими, почвенными и биологическими (в частности, различной потребностью растений в воде атмосферных осадков) параметрами рассматриваемых территорий. В данной работе мы представляем численное моделирование процессов эвапотранспирации в сезонно-талом слое минеральных почв склонов малого лесного водосборного бассейна в Центральной Сибири. С использованием недавно разработанной криогидрогеологической модели permaFoam с высокопроизводительными вычислениями (HPC) нами рассматривается влияние экспозиции склонов и мощности корнеобитаемого слоя на фактическую эвапотранспирацию.

HEAT AND WATER TRANSFERS MODELING IN THE KULINGDAKAN WATERSHED

L. ORGOGOZO[1], A.S. PROKUSHKIN[2], O.S. POKROVSKY[1, 3], C. GRENIER[4], M. QUINTARD[5, 6], J. VIERS[1], S. AUDRY[1]

[1] GET (Geosciences Environment Toulouse), Toulouse, France (laurent.orgogozo@get.omp.eu)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc, Krasnoyarsk, Russia
[3] BIO-GEO-CLIM laboratory, Tomsk State University, Tomsk, Russia
[4] LSCE (Laboratory of Climate and Environment Sciences), Gif-sur-Yvette, France
[5] IMFT (Toulouse Institute of Fluid Mechanics), Toulouse, France
[6] CNRS, IMFT, Toulouse, France

Evapotranspiration has a major control on continental surfaces dynamics in forested boreal environments. For example, it has strong impacts on active layer thickness, mainly because of its effect on water content within the upper layers of the soil column. These are complex processes, depending not only on climate forcings (atmospheric water demand) but also on physical, geo-pedological and biological properties of the considered areas. Here we propose a numerical investigation of evapotranspiration processes in the active layer of slopes of a forested watershed in Central Siberia. The effect on actual evapotranspiration of the spatial contrasts in terms of exposure and root layer thickness within the watershed are simulated using a recently developed high performance computing cryohydrogeological model, permaFoam.

Введение. Эвапотранспирация является одним из основных движущих факторов ландшафтной вариабельности в биоме тайги, о чем свидетельствует, например, контраст между северными и южными склонами в районе п. Тура (рис. 1). Изменения

режимов эвапотранспирации, будь то в связи с изменением климата или нет, могут оказывать значительные воздействия на динамику континентальных бореальных областей, например, на гидрологический сток [1]. Таким образом, для разработки прогнозного моделирования эволюции бореальных ландшафтов в условиях изменения климата требуется точная количественная оценка процессов эвапотранспирации.

Рис. 1. Видимый контраст между склонами северной и южной экспозиции в бассейне ручья Кулингдакан, занимаемыми лиственничниками разной продуктивности [3]

В этой связи целью данной работы являлась разработка методологии количественной оценки фактической эвапотранспирации в лесистых районах криолитозоны Центральной Сибири.

Моделирование эвапотранспирации на водосборном бассейне ручья Кулингдакан. Для изучения относительного вклада различных физико-географических и климатических параметров таежных мерзлотных ландшафтов в процессы эвапотранспирации в современных климатических условиях была смоделирована термогидродинамика экспериментального водосбора ручья Кулингдакан [2, 3]. С этой целью нами была разработана криогидрогеологическая модель permaFoam [4]. Поскольку в криогидрогеологическом моделировании необходима высокопроизводительная вычислительная техника [5], мы разработали permaFoam с открытым исходным кодом для вычислительной гидродинамики [6] (www.openfoam.com). На основе потенциальной эвапотранспирации и данных климатических наблюдений производится вычисление эвапотранспирационного поглощения воды в сезонно-талых слоях почв водосборного бассейна. Для этого используется распределенный пространственно-временной метод с учетом как водообеспеченности, так и теплового состояния почвогрунтов [7]. Такой подход позволяет охарактеризовать чувствительность фактической эвапотранспирации к различным параметрам склонов (например, экспозиции, мощности корнеобитаемого слоя). Сравнение результатов наблюдений и моделирования теплового и гидрологического режима почв в пределах бассейна позволяет оценить скорость эвапотранспирации в сезонно-талом слое.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Duan L., Man X., Kurylyk B.L. et al.* Distinguishing streamflow trends caused by changes in climate, forest cover, and permafrost in a large watershed in northeastern China // Hydrological Processes. 2017. 31: 1938–1951.
2. *Prokushkin A.S., Pokrovsky O.S., Shirokova L.S. et al.* Sources and export fluxes of dissolved carbon in rivers draining larch-dominated basins of the Central Siberian Plateau // Environ. Res. Lett. 2011. 6: 045212. DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045212.
3. *Viers J., Prokushkin A.S., Pokrovsky O.S. et al.* Zn isotope fractionation in a pristine larch forest on permafrost-dominated soils in Central Siberia // Geochemical Transactions. 2015. 16 (3). DOI: 10.1186/s12932-015-0018-0.

4. *Orgogozo L., Prokushkin A.S., Pokrovsky O.S. et al.* Water and energy transfer modelling in a permafrost-dominated, forested catchment of Central Siberia: the key role of rooting depth // Permafrost and Periglacial Processes. 2019. 30: 75–89. DOI: 10.1002/ppp.1995.
5. *Painter S.L., Moulton J.D., Wilson C.J.* Modeling challenges for predicting hydrologic response to degrading permafrost // Hydrogeology Journal. 2013. 21: 221–224. DOI: 10.1007/s10040-012-0917-4.
6. *Weller H.G., Tabor G., Jasak J. et al.* A tensorial approach to computational continuum mechanics using object-oriented techniques // Computer in Physics. 1998. 12 (6): 620–631.
7. *Orgogozo L.* RichardsFoam2: A new version of RichardsFoam devoted to the modelling of the vadose zone. Computer Physcics Communications. 2015. 196: 619–620.

УДК 577.212.3

ГЕНОМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХВОЙНЫХ СИБИРИ И ИХ ОСНОВНЫХ ФИТОПАТОГЕНОВ

Н.В. ОРЕШКОВА[1, 2, 3], Е.И. БОНДАР[1, 3], А.И. КОЛЕСНИКОВА[1, 3], В.С. АКУЛОВА[1, 3], В.В. БИРЮКОВ[1, 3], С.В. НОВИКОВА[3], Ю.А. ПУТИНЦЕВА[3], В.В. ШАРОВ[1, 3], Д.А. КУЗЬМИН[3], С.И. ФЕРАНЧУК[4, 5], Е.П. СИМОНОВ[1, 6], М.Г. САДОВСКИЙ[1, 7], Ю.А. ЛИТОВКА[2, 8], И.Н. ПАВЛОВ[1, 2], К.В. КРУТОВСКИЙ[3, 9, 10, 11]

[1] Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Россия (oreshkova@ksc.krasn.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[4] Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
[5] Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия
[6] Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия
[7] Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия
[8] Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
[9] Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия
[10] Техасский АМ университет, Колледж Стейшн, Техас, США
[11] Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Россия

Знания о геномах хвойных и их основных фитопатогенов являются фундаментом для последующих исследований биохимических и физиологических процессов в этих организмах. Глубокие знания об экзон-интронной структуре генов, повторяющихся последовательностей и межгенных участков позволят понять механизмы регуляции этих процессов и их эволюцию.

GENOMIC STUDIES OF THE CONIFERS IN SIBERIA AND THEIR MAIN PHYTOPATOGENS

N.V. ORESHKOVA[1, 2, 3], E.I. BONDAR[1, 3], A.I. KOLESNIKOVA[1, 3], V.S AKULOVA[1, 3], V.V. BIRYUKOV[1, 3], S.V. NOVIKOVA[3], Yu. A. PUTINTSEVA[3], V.V. SHAROV[1, 3], D.A. KUZMIN[3], S.I. FERANCHUK[4, 5], E.P. SIMONOV[1, 6], M.G. SADOVSKIY[1, 7], Yu.A. LITOVKA[2, 8], I.N. PAVLOV[1, 2], K.V. KRUTOVSKY[3, 9, 10, 11]

[1] Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Krasnoyarsk, Russia (oreshkova@ksc.krasn.ru)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[4] Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
[5] Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia
[6] Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS, Novosibirsk, Russia
[7] Institute of Computational Modeling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
[8] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Krasnoyarsk, Russia
[9] Georg-August University of Gottingen. Gottingen, Germany
[10] Texas AM University, College Station, Texas, USA
[11] Vavilov Institute of General Genetics RAS, Moscow, Russia

Knowledge of the genomes of conifers and their main pathogens is a foundation for further research on biochemical and physiological processes in these organisms. Deep knowledge of the exon-intron gene structure, repetitive sequences and intergenic regions will allow us to understand the mechanisms of regulation of these processes, as well as to understand their evolution.

Огромные размеры геномов хвойных делают задачу по их изучению чрезвычайно сложной как с точки зрения получения необходимого количества данных секвенирования, так и с точки зрения их обработки. Однако референсные геномы

хвойных очень необходимы для дальнейших исследований эволюционных, биохимических и физиологических процессов в этих организмах. Только несколько ядерных геномов хвойных деревьев были секвенированы и опубликованы к настоящему времени. В течение последних пяти лет нам удалось секвенировать и собрать ядерные геномы трех видов хвойных – полностью *Larix sibirica* Ledeb. и частично *Pinus sibirica* Du Tour и *P. sylvestris* L. (табл. 1) с использованием оригинального, разработанного в лаборатории лесной геномики СФУ метода поэтапной сборки больших геномов [1].

Таблица 1. Статистика по геномным сборкам исследованных видов хвойных

Виды	Количество скафолдов, млн н.о.	Суммарная длина сборки, млрд н.о.	N50, н.о.	Максимальная длина контига, н.о.
De novo сборки				
L. sibirica	11,33	12,34	6443	354 326
P. sibirica	9,45	13,56	6920	965 075
P. sylvestris	14,11	7,8	654	105 091
Сборки с использованием референсных геномов				
P. sibirica (ref – *P. lambertiana)*	10,21	18,19	4562	109 778
P. sylvestris (ref – *P. taeda)*	13,98	9,778	989	63 340

Проведен поиск микросателлитных локусов в полученных сборках геномов лиственницы сибирской и сосны кедровой сибирской. Осуществлены дизайн и тестирование соответствующих ПЦР праймеров для их амплификации. Составлен и описан каталог микросателлитных (SSR) локусов для этих видов [2–4].

Для глубокого аннотирования геномов хвойных дополнительно подготовлены и отсеквенированы транскриптомные библиотеки из различных тканей хвои, почек, молодых побегов, женских шишек, ксилемы и т. п. Проведена биоинформатическая обработка данных секвенирования транскриптомов. Проведены *de novo* сборка и аннотирование транскриптома лиственницы сибирской и анализ его статистических и комбинаторных свойств.

Осуществлены полная сборка и аннотирование хлоропластного генома лиственницы сибирской. Длина хлоропластного генома *L. sibirica* составила 122 561 нуклеотидных оснований (н.о.) и близка к 122 474 н.о. у близкородственной *Larix decidua* Mill [5].

Сборка митохондриальных геномов лиственницы сибирской, сосны сибирской кедровой и сосны обыкновенной выявила их огромные размеры, гораздо большие, чем типичные размеры митохондриального генома растений (~300–1000 тыс. н.о.). Опираясь на эффективный гибридный подход сборки геномов с использованием длинных ридов MinION и коротких ридов Illumina, удалось существенно улучшить финальную сборку митохондриального генома лиственницы сибирской, который состоит из 9 контигов (непрерывных нуклеотидных последовательностей) суммарной длиной 11 662 539 пар н.о., показатель N50 составил 3 031 766 н.о. Самый длинный контиг состоит из 4 008 762 н.о., самый короткий – из 24 767 н.о. В полученной сборке найдено 39 белок-кодирующих генов, 20 генов тРНК и 3 гена рРНК.

Был осуществлен поиск генов, ответственных за формирование фенотипа ведьминых метел (ВМ) у сосны обыкновенной и сосны кедровой сибирской путем анализа дифференциальной генной экспрессии с помощью РНК-секвенирования. Для сосны найдено 10 генов с различиями в уровне экспрессии между образцами деревьев с

нормальной кроной (НК) и ВМ, для кедра – 7 генов. Также обнаружено несколько точечных соматических мутаций в ВМ и проводится работа по изучению их возможной функциональной связи с фенотипом ВМ.

Помимо исследований геномов хвойных, ведутся исследования их основных фитопатогенов. Используя разные биоинформатические подходы, удалось получить улучшенную сборку и аннотацию генома опенка *Armillaria borealis* Marxm. & Korhonen, а также сравнить полученные данные с опубликованным геномом *Armillaria solidipes* Peck. (син. *A. ostoyae* (Romagn.) Herink).

Собранные и аннотированные нами митохондриальных геномы *A. borealis* и *A. sinapina* Bérubé & Dessur сравнивались с митохондриальными геномами североамериканских видов *A. solidipes* и *A. gallica* Marxm. (син. *Armillaria lutea* Gillet), сборки которых опубликованы в базе данных JGI. Несмотря на консервативный набор генов, в четырех мтДНК были выявлены существенные геномные перестройки в регионе между *rps3* и *atp9* (рис. 1). Во всех четырех геномах были найдены частичные генные дупликации гена *atp9* [6]. Было выдвинуто предположение, что различия в размерах митохондриальных геномов четырех близкородственных видов *Armillaria* связаны с активностью мобильных генетических элементов.

Кроме этого, впервые были получены сборки транскриптомов межвидовых гибридов *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. × *Heterobasidion parviporum* Niemelä & Korhonen с различным уровнем фитопатогенности. Осуществлен предварительный анализ дифференциальной экспрессии генов. Проведены *de novo* сборка и аннотация транскриптома *Neonectria sp*. Из 14 129 уникальных транскриптов («юнигенов») было полностью проаннотировано 57 %. Определены основные молекулярные функции изучаемых последовательностей и биологические процессы, в которых они принимают участие.

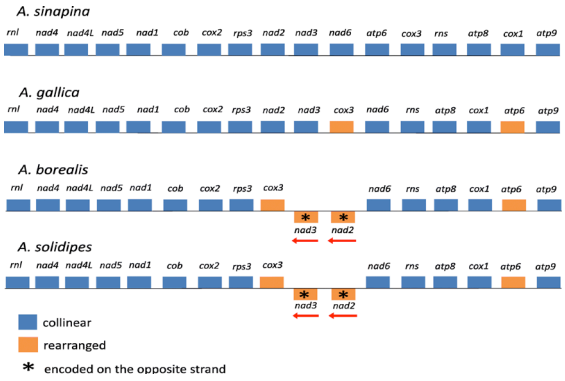


Рис. 1. Гены, картированные и аннотированные в митогеномах четырех исследованных видов *Armillaria*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kuzmin D.A., Feranchuk S.I., Sharov V.V., Cybin A.N., Makolov S.V., Putintseva Y.A., Oreshkova N.V., Krutovsky K.V.* Stepwise large genome assembly approach: A case of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) // BMC Bioinformatic. 2019. 20 (Suppl. 1): 37. P. 36–52.
2. *Белоконь М.М., Политов Д.В., Мудрик Е.А., Полякова Т.А., Шатохина А.В., Белоконь Ю.С., Орешкова Н.В., Путинцева Ю.А., Шаров В.В., Кузмин Д.А., Крутовский К.В.* Разработка микросателлитных маркеров сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) по результатам полногеномного *de novo* секвенирования // Генетика. 2016. Т. 52. № 12. С. 1418–1427.
3. *Орешкова Н.В., Путинцева Ю.А., Шаров В.В., Кузьмин Д.А., Крутовский К.В.* Разработка микросателлитных маркеров лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на основе полногеномного *de novo* секвенирования // Генетика. 2017. Т. 53. № 11. С. 1278–1284.
4. *Орешкова Н.В., Бондар Е.И., Путинцева Ю.А., Шаров В.В., Кузьмин Д.А., Крутовский К.В.*

Разработка ядерных микросателлитных маркеров с длинными (трех-, четырех-, пяти- и шестинуклеотидными) мотивами для трех видов лиственницы на основе полногеномного *de novo* секвенирования лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) // Генетика. 2019. Т. 55. № 4. С. 418–425.

5. *Bondar E.I., Putintseva Y.A., Oreshkova N.V., Krutovsky K.V.* Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) chloroplast genome and development of polymorphic chloroplast markers // BMC Bioinformatics. 2019. 20 (Suppl. 1): 38. P. 48–52.
6. *Kolesnikova A.I., Putintseva Y.A., Simonov E.P., Biriukov V.V., Oreshkova N.V., Pavlov I.N., Sharov V.V., Kuzmin D.A., Anderson J.B., Krutovsky K.V.* Mobile genetic elements explain size variation in the mitochondrial genomes of four closely-related *Armillaria* species // BMC Genomics. 2019. 20: 351.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работы выполнены в рамках проекта «Геномные исследования основных бореальных лесообразующих хвойных видов и их наиболее опасных патогенов в Российской Федерации», руководимого проф. К.В. Крутовским и финансируемого Правительством РФ (договор № 14.Y26.31.0004) в рамках грантов РФФИ (грант 14-04-01462-а, 16-04-00440-а, 16-04-01400-а, 18-29-13044 мк, 19-04-00964-а) и РНФ (грант 19-14-00120), а также в рамках базовых проектов ФИЦ КНЦ СО РАН № 0356-2019-0024, № 0287-2019-0002.

УДК 550.47

ОЦЕНКА ПРИЗЕМНОГО СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И МЕТАНА НАД ЭКОСИСТЕМАМИ АРКТИЧЕСКОЙ ТУНДРЫ В ЭСТУАРНОЙ ЗОНЕ Р. ЕНИСЕЙ

А.В. ПАНОВ[1], А.С. ПРОКУШКИН[1], М.А. КОРЕЦ[1], Н.В. СИДЕНКО[1], Г.К. ЗРАЖЕВСКАЯ[1], М.Г. БОНДАРЬ[2], И.Н. КОРНИЕНКО[2], К. КЮБЛЕР[3], Й.В. ЛАВРИЧ[3], М. ХАЙМАНН[3,4]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (alexey.v.panov@gmail.com)
[2] Объединенная дирекция заповедников Таймыра, Норильск, Россия (mikisayan@yandex.ru)
[3] Институт биогеохимии общества Макса Планка, Йена, Германия (martin.heimann@bgc-jena.mpg.de)
[4] Университет Хельсинки, Институт исследования атмосферных и наземных систем, Хельсинки, Финляндия (martin.heimann@helsinki.fi)

В работе представлены данные измерений содержания диоксида углерода и метана в приземной атмосфере эстуарной зоны р. Енисей в районе г. п. Диксон (п-ов Таймыр) за первый (2018) год наблюдений.

OBSERVATIONS OF CARBON DIOXIDE AND METHANE MOLE FRACTIONS OVER THE ARCTIC TUNDRA ECOSYSTEMS IN THE ESTUARY ZONE OF THE YENISEI RIVER

A.V. PANOV[1], A.S. PROKUSHKIN[1], M.A. KORETS[1], N.V. SIDENKO[1], G.K. ZRAZHEVSKAYA[1], M.G. BONDAR[2], I.N. KORNIENKO[2], K. KUBLER[3], J.V. LAVRIC[3], M. HEIMANN[3,4]

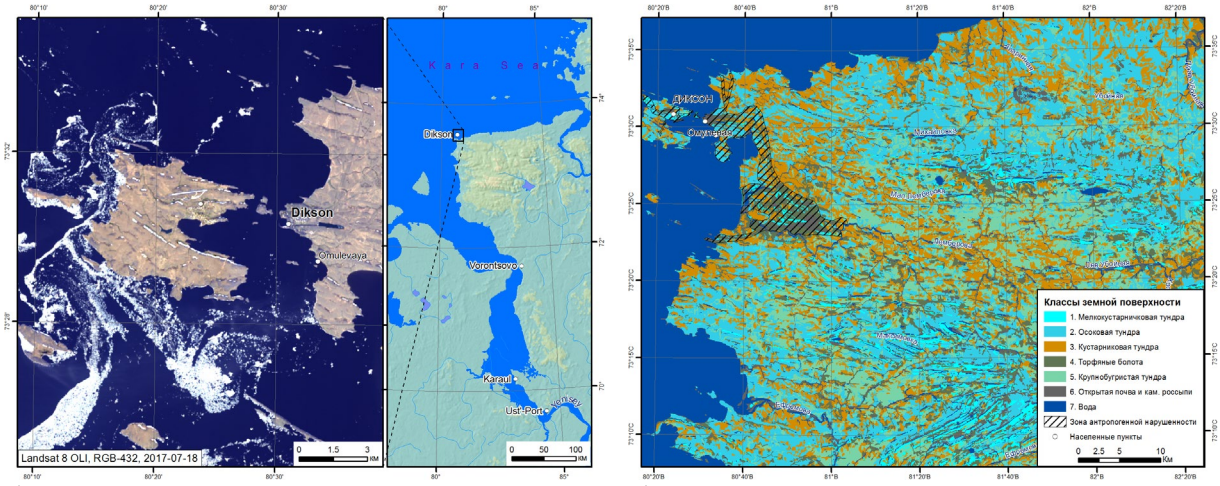
[1] V.N. Sukachev Institute of Forest of the SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (alexey.v.panov@gmail.com)
[2] Joint Directorate of Taimyr Nature Reserves, Norilsk, Russia (mikisayan@yandex.ru)
[3] Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany (martin.heimann@bgc-jena.mpg.de)
[4] University of Helsinki, Faculty of Science, Institute for Atmospheric and Earth System Research, Helsinki, Finland (martin.heimann@helsinki.fi)

Here we present the first milestones in observations of atmospheric mole fractions of CO_2 and CH_4 over the Arctic tundra ecosystems in the estuary zone of the Yenisei river near the Dikson settlement (the Taimyr peninsula). Since the new site is only operational since autumn 2018, so far the autumn-to-winter carbon dioxide build-up was observed. In contrast to CO_2, CH_4 concentrations demonstrate rather flat baseline, with a median value of 1,97 ppm, which does not vary much during autumn, but characteristic spikes are observed in the time series. They are more prominent in early autumn, when most biotic activity in the surrounding arctic tundra and wetlands still occurs and become smaller and smoother later in fall. In winter time a detailed look is required in respect to analyzing individual synoptic anomalies. A prominent winter peak in the CO_2 and CH_4 concentration time series was analyzed within February 25–26, 2019, which served as a good illustration to observe various carbon signals within a short time.

Введение. Арктика – один из четырех регионов мира, отнесенных межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) к наиболее климатически уязвимым. Согласно четвертому оценочному докладу МГЭИК [1], Арктический регион находится на начальном этапе перемен, порождаемых значительным поступлением в атмосферу парниковых газов (ПГ) антропогенного происхождения. Так, в настоящее время отмечаются изменения в площадях распространения вечной мерзлоты и сдвиги в потоках углерода в атмосферу и гидрографическую сеть – Арктический (полярный) бассейн. Оценки обменных потоков углерода в Арктическом регионе свидетельствуют, что обширные территории полярного бассейна являются стоками для диоксида углерода (200–400 Тг С год$^{-1}$) и источниками для метана (33–46 Тг С год$^{-1}$) [2, 3]. Однако темпы роста температуры в Арктике создают существенную неопределенность в актуальности даже достаточно

современных оценок, что во многом обусловлено почти полным отсутствием систематических наблюдений за ПГ атмосферы в высоких широтах.

Объекты и методы исследований. Круглогодичный мониторинг концентраций диоксида углерода, метана и водяного пара в приземной атмосфере эстуарной зоны р. Енисей в районе г. п. Диксон (73°33′ с. ш., 80°34′ в. д.) (рис. 1а, б) проводится измерительным комплексом на основе газоанализатора Picarro G2301-f (Picarro Inc., США) с отбором воздуха с микрометеорологической мачты на высоте 30 м н. у. м. Мониторинг газового состава сопряжен с высокочастотными измерениями основных метеорологических параметров: ветровых характеристик (Gill R3-50, Gill Instruments ltd., Великобритания), температуры и влажности воздуха (Vaisala HMP155, Vaisala Corp., Финляндия), количества осадков (TRM-525M, Texas Electronics Inc., США), солнечной радиации (CM-14, Kipp & Zonen B.V., Нидерланды). Данные измерений сохраняются на регистраторе данных Sutron 9210 XLite (Sutron Corp., США).



а) б)

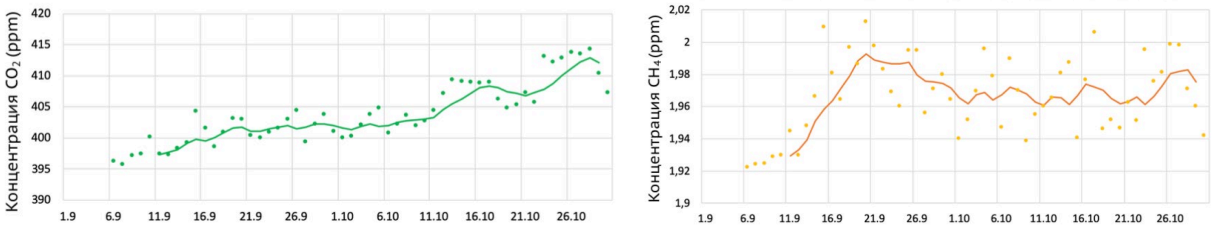
Рис. 1. Расположение станции измерений газового состава атмосферы в эстуарной зоне р. Енисей в районе г. п. Диксон (а); фрагмент карты классов земной поверхности района исследований по данным спутниковой съемки Landsat 8 OLI (2017.07.18) (б)

Оценка переноса воздушных масс (ВМ) к измерительному комплексу проведена посредством траекторной модели ARL NOAA HYSPLIT с расчетом 5-дневных обратных лагранжевых траекторий на основе метеорологических полей глобальной системы ассимиляции данных (GDAS).

Результаты и обсуждение. На рис. 2 представлен ряд данных измерений дневных значений (06:00–10:00 UTC) концентраций диоксида углерода и метана в осенний период (сентябрь – октябрь 2018 г.). С середины сентября отмечается устойчивый рост концентрации CO_2, обусловленный прекращением ассимиляционной активности арктической тундры и превалированием процессов выделения диоксида углерода над его поглощением. Осенняя динамика приземного содержания CH_4 демонстрирует незначительную вариабельность, с медианным значением на уровне 1,97 ppm и более заметными флуктуациями в начале осени за счет локального выделения метана из болотных экосистем и тундры.

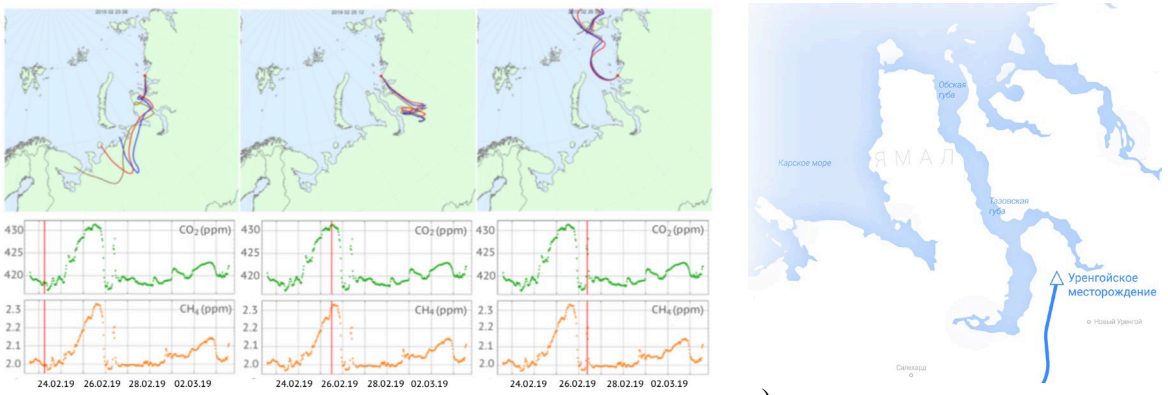
Анализ сезонного распределения ветровых характеристик для участка наблюдений показал, что летние измерения (июнь – сентябрь) охватывают преимущественно «фоновый» сигнал с акватории Северного Ледовитого океана и Арктики, а в зимние месяцы мониторинговая станция более подвержена влиянию континентальных ВМ, приходящих с юга и юго-запада – территорий Западной и Центральной Сибири. По этой причине зимний период наиболее интересен при

рассмотрении частных синоптических явлений. По данным наших наблюдений, характерным примером может служить аномалия, зафиксированная в газовом режиме атмосферы 24–27 февраля 2019 г. (рис. 3а, б, в).



а) б)

Рис. 2. Средние часовые значения дневных (06:00–10:00 UTC) концентраций CO_2 (а) и CH_4 (б) в приземной атмосфере Арктической зоны в сентябре – октябре 2018 г. Сплошной линией обозначены 7-дневные скользящие средние



а) б) в) г)

Рис. 3. Средние получасовые значения концентраций CO_2 и CH_4 в период с 24.02.19 по 03.03.19 с 5-дневными обратными траекториями переноса ВМ на высотах н.у.м.: 30 м (красная линия), 80 м (синяя линяя) и 150 м (коричневая линия) (а, б, в). Вертикальной красной линией на рядах данных отмечено время (UTC) прихода ВМ к станции измерений; расположение Уренгойского газового месторождения ПАО «Газпром» (г)

В ходе аномалии было отмечено длительное нарастание приземной концентрации диоксида углерода (Δ CO_2 = 15 ppm) и метана (Δ CH_4 = 0,3 ppm) при смене ВМ с западного направления, приносящего океанический сигнал с акватории Баренцева моря (рис. 3а) на южные направления с территории Центральной Сибири (п-ов Тазовский) (рис. 3б), подверженные влиянию антропогенных источников ПГ, в частности, газовых месторождений в районе Нового Уренгоя (рис. 3г). После снижения значений до «фоновых» наблюдался кратковременный всплеск содержания диоксида углерода (Δ CO_2 = 10 ppm) и метана (Δ CH_4 = 0,2 ppm), вызванный, в свою очередь, переносом ВМ с акватории Карского моря и архипелага Северная Земля (рис. 3в). Однако идентификация подобных смешанных источников ПГ требует большего массива данных инструментальных наблюдений и статистики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *IPCC*, 2007: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. 851 pp.

2. *McGuire A.D., Anderson L.G., Christensen T.R. et al.* Sensitivity of the carbon cycle in the Arctic to climate change // Ecological Monographs. 2009. 79 (4). 523–555.
3. *Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D. et al.* An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods // Biogeosciences. 9. 2012. 5323–5340.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены при финансовой поддержке правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 18-45-243003, Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научных проектов № 18-05-00235а, № 18-05-60203 и Общества Макса Планка (Германия).

УДК 630*443.3

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ С КУЛЬТУРАМИ ВОЗБУДИТЕЛЯ УСЫХАНИЯ ЯСЕНЯ – ГРИБА *HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS*

Н.В. ПАШЕНОВА, А.А. ПЕРЦОВАЯ, Ю.Н. БАРАНЧИКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (pasnat@ksc.krasn.ru)

Приведена информация о лабораторном выделении и поддержании чистых культур *Hymenoscyphus fraxineus*. Представлена модификация известного способа выделения, позволяющая получать культуры *H. fraxineus* из зараженных грибом листьев ясеня без созревания его плодовых тел.

PECULIARITY OF LABORATORY CULTURES MAINTAINING OF *HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS* - THE CAUSE OF ASH DIEBACK DISEASE

N.V. PASHENOVA, A.A. PERTSOVAYA, Yu.N. BARANCHIKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (pasnat@ksc.krasn.ru)

The information on laboratory isolating and keeping pure cultures of *Hymenoscyphus fraxineus* is reported. A modification of the existing method of isolation is presented that enables to obtain *H. fraxineus* cultures from ash leaves infected with the fungus without maturing its fruit bodies.

Инвазионный вид *Hymenoscyphus fraxineus* (T. Kowalski) Baral, Queloz & Hosoya обратил на себя внимание в 1990-х годах из-за своей способности вызывать масштабные повреждения ясеня в Европе. Этот гриб, предположительно, был завезен в Европу из Восточной Азии, где он является повсеместно встречаемым эндофитом [1], вызывая, тем не менее, незначительные поражения местных видов ясеней [3]. В Европе, где преобладает ясень обыкновенный *Fraxinus excelsior* L., *H. fraxineus* вызывает некрозы и преждевременное опадение листьев, вилт побегов, некрозы рахисов, стволиков, корневых шеек и, как следствие этих повреждений, усыхание кроны. Молодые растения подвержены высокой смертности от этого заболевания, а в зрелых и старых деревьях болезнь проявляется в хронической форме, которая нередко также приводит к гибели хозяина [5]. Массовый отпад ясеней в лесах, парках, лесополосах и живых изгородях ведет к серьезным экологическим и экономическим последствиям [4]. Болезнь зарегистрирована в 25 странах Европы, и в последнее десятилетие быстро увеличиваются свидетельства ее широкого распространения по территории европейской части РФ.

Экспериментальные работы с чистыми культурами грибов являются обязательными при изучении новых заболеваний. Такие исследования позволяют вычленить факторы фитопатогенности возбудителя, изучить структуру его популяций, оценить специфичность патогена в отношении разных видов растений, выявить экологические особенности и проч. Все эти данные важны для прогнозирования распространения болезни и разработки способов защиты растений. Исследования биологии *H. fraxineus* ведутся уже несколько десятилетий, в основном в европейских странах. Для России этот фитопатоген является относительно новым объектом, и особенности работы с ним малоизвестны. Цель данного сообщения – осветить способы получения и поддержания в лабораторных условиях чистых культур гриба *H. fraxineus*.

Как многие некротрофные патогены, *H. fraxineus* способен расти на средах с солодовым экстрактом [7, 8], в том числе и на разбавленном пивном сусле. Для изолирования культур гриба мы использовали агаризованное сусло (СА), разбавленное в 3 и 5 раз (соответственное содержание сахаров – 5–6° и 3–4° по Баллингу). В литературе можно встретить ссылки на среды иного состава, в том числе с добавлением измельченных листьев ясеня [6]. Ориентируясь на эти рекомендации, мы успешно

использовали среду из разбавленного сусла и отвара листьев ясеня пенсильванского (ЯЛС) для хранения культур, подготовки материала в полевые инокуляционные эксперименты и для изучения особенностей физиологии гриба.

Как и у других аскомицетов, жизненный цикл *H. fraxineus* включает две стадии развития: несовершенную (анаморфа с собственным названием *Chalara fraxinea* T. Kowalski) и совершенную (телиоморфа). В несовершенной стадии развития на гифах гриба формируются конидиеносцы в виде отдельно расположенных или нескольких объединенных в группу фиалид. Ранее считалось, что продуцируемые ими мелкие конидии выполняют только роль спермациев, но уже показано, что они могут инфицировать листья ясеня *in vitro*, заражать сеянцы через листья и почву [4]. Тем не менее, попытки изолирования чистых культур *H. fraxineus* с использованием конидиальной массы в литературе не отмечены.

Известные методики изолирования *H. fraxineus* предполагают получение «тканевых» и «споровых» культур. В первом случае в качестве инокулюма используют кусочки коры возле границы между здоровым и некротизированным участками пораженных грибом побегов ясеня. Эти кусочки с соблюдением возможной стерильности раскладывают на плотные питательные среды [7]. Во втором случае для получения культур используются плодовые тела гриба (апотеции) [2]. Зрелые апотеции мы прикрепляли над поверхностью плотной питательной среды, куда высыпались созревшие аскоспоры, образующие при прорастании новую колонию *H. fraxineus.*

Оба способа имеют свои сложности и не гарантируют легкое получение чистой культуры гриба. Изолирование гриба из пораженной ткани побегов осложняется загрязненностью поверхности коры сапротрофными грибами. Обладая, как правило, быстрым ростом, сапротрофы на агаровых средах подавляют медленно растущий мицелий *H. fraxineus*, делая невозможным отсев его чистой культуры. Стандартный прием – добавка к средам молочной или лимонной кислоты, чтобы исключить развитие бактерий и замедлить рост загрязняющих грибов-сапротрофов – в этом случае неприменим, поскольку *H. fraxineus* практически не развивается на «подкисленной» среде. Чтобы избежать контаминации, рекомендуются поверхностная стерилизация собранных побегов, добавление антибиотиков к среде, а также максимальное сокращение периода между срезкой пораженных побегов и раскладкой кусочков некротизированной коры на поверхность среды для изолирования.

При получении споровой культуры используют апотеции *H. fraxineus*, которые развиваются во вторую половину лета на черешках (рахисах) опавших и перезимовавших в подстилке листьев ясеня. Препарируя бокало- и зонтиковидные апотеции для их крепления над плотной питательной средой, следует помнить, что на черешках ясеня свои плодовые тела формируют и другие представители рода *Hymenoscyphus*. Например, таким видом является *H. albidus*, обладающий морфологическим сходством с *H. fraxineus*, но не являющийся фитопатогеном [10]. Колонии *H. fraxineus* на плотных средах проявляют значительную вариабельность [9], поэтому следует подчеркнуть необходимость молекулярно-генетической верификации культур, полученных из плодовых тел.

Лучшим материалом для получения аскоспоровой массы *H. fraxineus* являются плодовые тела, развившиеся в природных условиях. Однако нам удалось получить изоляты гриба из черешков, собранных до начала формирования плодовых тел. С этой целью черешки перезимовавших в подстилке листьев помещали во влажные камеры и инкубировали при комнатной температуре в течение месяца. В искусственных условиях не было отмечено развития полноценных плодовых тел *H. fraxineus*. Однако на поверхности черешков образовывались, иногда очень обильно, их зачатки (примордии) – столбикообразные или грушевидные структуры, суживающиеся к

вершине, размером 3–5 х 1–2 мм. Данные зачатки препарировали и после кратковременной стерилизации в 96%-м спирте измельчали. Кусочки примордиев, помещенные на поверхность плотной питательной среды, развивались со временем в колонии *H. fraxineus*. При этом, согласно нашим наблюдениям, стадия измельчения является обязательным этапом, так как из неразрушенных примордиев мицелий не развивался даже после 2 месяцев инкубирования.

В процессе изучения *H. fraxineus* − возбудителя усыхания ясеня – с 2017 г. нами собрана рабочая коллекция культур этого гриба, которая насчитывает 66 изолятов, происходящих из Белоруссии, Швеции, Северо-Запада (Ленинградская, Псковская области) и Центра (Воронежская область, Теллермановский лес) европейской России, российского Дальнего Востока (Хабаровский край). Культуры поддерживаются на агаризованной среде ЯЛС при 4 °С и используются для изучения биологии, экологии и генетических особенностей данного гриба, а также для проверки фитопатогенных свойств в отношении разных видов ясеня на территории РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Звягинцев В.Б., Богачева А.В., Демидко Д.А., Богачев И.Г., Пантелеев С.В., Баранчиков Ю.Н.* Санитарное состояние ясеневых насаждений Дальнего Востока России // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: матер. II Всерос. конф. с межд. участием, 22–26 апр. 2019 г., Москва. Москва – Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. С. 76–77.
2. *Cleary M., Daniel G., Stenlid J.* Light and scanning electron microscopy studies of the early infection stages of *Hymenoscyphus pseudoalbidus* on *Fraxinus excelsior* // Plant Pathol. 2013. 62: 1294–1301.
3. *Drenkhan R., Solheim H., Bogacheva A., Riit T., Adamson K., Drenkhan T., Maaten T., Hietala A.M. Hymenoscyphus fraxineus* is a leaf pathogen of local *Fraxinus* species in the Russian Far East // Plant Pathol. 2017. 66: 490–500.
4. *Fones H.N., Mardon C., Gurr S.J.* A role for the asexual spores in infection of *Fraxinus excelsior* by the ash-dieback fungus *Hymenoscyphus fraxineus* // Sci. Rep. 2016. 6. DOI: 10.1038/srep34638.
5. *Gross A., Holdenrieder O., Pautasso M., Queloz V., Sieber T.N. Hymenoscyphus pseudoalbidus*, the causal agent of European ash dieback // Mol. Plant Pathol. 2014. 15: 5–21.
6. *Gross A., Zaffarano P.L., Duo A. and Grunig C.R.* Reproductive mode and life cycle of the ash dieback pathogen *Hymenoscyphus pseudoalbidus* // Fungal Genet. and Biol. 2012. 49: 977–986.
7. *Jankovský L., Holdenrieder O. Chalara fraxinea* – ash dieback in the Czech Republic // Plant Protect. Sci. 2009. 45: 74–78.
8. *Kowalski T., Holdenrieder O.* Pathogenicity of *Chalara fraxinea* // For. Pathol. 2009. 39: 1–7.
9. *Kowalski T., Bartnik C.* Morphologial variation in colonies of *Chalara fraxinea* isolated from ash (*Fraxinus excelsior* L.) stems with symptoms of dieback and effects of temperature on colony growth and structure // Acta Agrobot. 2012. 63: 99–106.
10. *Queloz V., Grunig C.R., Berndt R., Kowalski T., Sieber T.N., Holdenrieder O.* Cryptic speciation in *Hymenoscyphus albidus* // For. Pathol. 2011. 41: 133–142.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы признательны Л.Г. Серой за огромный вклад в сбор материала, а также В.Б. Звягинцеву и E.D. Kjær и их сотрудникам за ценные консультации. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 17-04-01486).

УДК 574.42

ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАРУШЕНИЙ ДРЕВОСТОЯ В МАЛОНАРУШЕННЫХ КЕДРОВО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Т.Я. ПЕТРЕНКО, О.Н. УХВАТКИНА, А.М. ОМЕЛЬКО, А.А. ЖМЕРЕНЕЦКИЙ

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия (petrenkotya@gmail.com)

Впервые восстановлена история естественных нарушений малонарушенных кедрово-широколиственных лесов на площади 4,5 га. Продолжительность реконструкции – 260 лет (1750–2010 гг). Выявлено, что на территории исследования происходили нарушения средних масштабов. Наиболее крупные распады древостоя наблюдались в 1880–1880 и 1960–1969 гг. и были вызваны, вероятнее всего, сильными ветрами.

NATURAL DISTURBANCE HISTORY OLD-GROWTH MIXED KOREAN-PINE BROADLEAVES FOREST IN SOUTHERN RUSSIAN FAR EAST

T.Ya. PETRENKO, O.N. UKHVATKINA, A.M. OMELKO, A.A. ZHMERENETSKY

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia (petrenkotya@gmail.com)

For the first time we reconstructed the natural disturbances history of old-growth mixed Korean-pine broadleaves forest on an area of 4,5 hectares. The duration of the reconstruction is 260 years (1750–2010). We found that medium-scale disturbances are being studied in the territory. The largest decays of the stand are observed in 1880–1880 and 1960–1969, most likely caused by strong winds.

Реконструкция истории естественных нарушений – важная часть исследований структуры и динамики лесных экосистем, которая помогает понять, как происходило формирование данного древостоя, какой характер имели нарушения, происходившие в прошлом, а также прогнозировать изменения в будущем [4]. К таким естественным нарушениям относятся ветровалы, пожары, вспышки насекомых. Восстановление этих процессов возможно с помощью изучения годичных колец деревьев, которые несут в себе множество информации об окружающих условиях и их изменениях [7].

В данной работе история естественных нарушений была реконструирована в кедрово-широколиственных лесах. Такие смешанные леса с преобладанием кедра корейского (*Pinus koraensis* Siebold. et Zucc.) являются наиболее ценными лесными сообществами на территории Приморского края и Дальнего Востока России [1]. Сложная структура сообществ, высокое биоразнообразие растений и животных делают эти насаждения уникальными. Естественные нарушения в таких лесах играют важную роль, обеспечивая сосуществование видов с различной жизненной стратегией [5].

Исследования проводились на территории Верхнеуссурийского стационара Федерального научного центра Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН), который расположен на западном макросклоне Сихотэ-Алинского хребта. Сбор материала проводился на постоянной пробной площади, заложенной в малонарушенном кедрово-широколиственном лесу на высоте 700–900 м н. у. м. На территории пробной площади в течение 2000 лет отсутствовали пожары и антропогенная нагрузка [8]. Древостой на данной территории образован 12 видами деревьев, доминирующими являются *Abies nephrolepis* (Trautv.), *Betula costata* Trautv., *Picea jezoensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr., *P. koraensis* и *Tilia amurensis* Rupr.

Для восстановления истории естественных нарушений древостоя было использовано 955 кернов с 3 видов хвойных деревьев: *A. nephrolepis*, *P. koraensis*, *P. jezoensis* и 2 видов лиственных деревьев: *B. costata* и *T. amurensis*. В работе

использовали дендроэкологическую методику Boundary line criteria [3], с помощью которой были выявлены периоды резкого увеличения радиального прироста. Такие резкие изменения в приросте происходят в результате улучшения световых условий (выпадения соседних деревьев из древостоя). Синхронизированные периоды резкого роста деревьев позволяют говорить о естественных нарушениях древостоя разного масштаба.

История естественных нарушений древостоя малонарушенного кедрово-широколиственного леса была восстановлена на период с 1750 по 2010 г. (рис. 1). С 1850 года в анализе участвовали все 5 видов деревьев.

За исследуемый период на территории не наблюдалось крупных естественных нарушений. В большинство декад резкое увеличение радиального прироста показывают не более 10 % деревьев: это означает, что выпадали отдельные деревья, которые давали возможность увеличить свой прирост лишь рядом стоящим молодым особям.

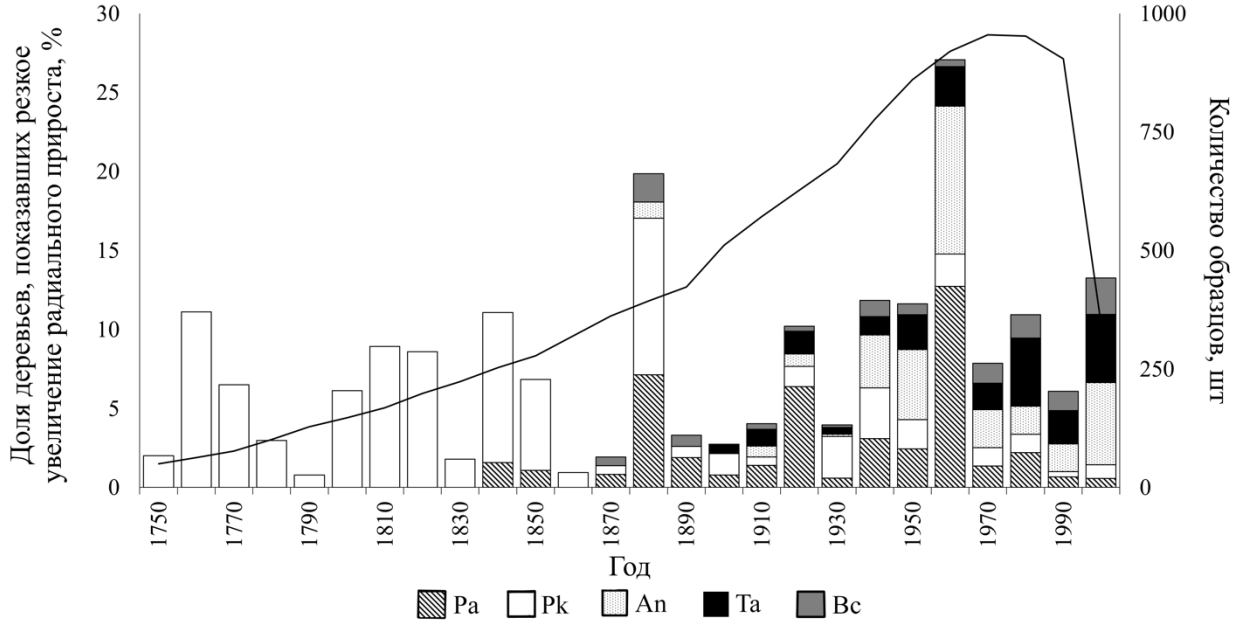


Рис.1. История естественных нарушений древостоя малонарушенных кедрово-широколиственных лесов

Примечание. Доля деревьев, показавших резкое увеличение радиального прироста, высчитывалось по десятилетиям относительно количества деревьев, участвующих в анализе в определенную декаду

Реконструкция истории нарушений показала, что за 250 лет происходило 2 значительных естественных нарушения средних масштабов, когда больше 15 % деревьев резко увеличило свой прирост (рис. 1). Первое естественное нарушение древостоя наблюдалось в декаду 1880–1890 гг., когда у 19,8 % деревьев резко увеличился прирост в диаметре. В основном реакцию показали *P. jezoensis* и *P. koraensis*. Максимальное количество деревьев показало увеличение радиального прироста в период с 1960 по 1969 г., когда более 25 % деревьев резко увеличили свой прирост. Такое крупное естественное нарушение древостоя, вероятно, могло быть вызвано тайфуном «Эмма», который проходил через территорию Приморского края в 1956 году [6]. Это был один из самых сильных тайфунов по скорости ветра – он, вероятно, и стал причиной крупных ветровалов на изучаемой территории. А вслед за выпадением из древостоя большого количества взрослых деревьев в следующую декаду молодые деревья, находившиеся под пологом, начали резко расти и занимать освободившееся пространство.

При этом хвойные деревья обладают большим потенциалом изменять свой прирост. Так, у *P. jezoensis* значение максимального изменения прироста равно 3411 % (увеличение прироста с 0,05 мм до 1,79 мм). Изменение прироста *P. koraensis* в два раза меньше, чем у *P. jezoensis*, но также имеет высокий показатель – 1532 %, у *A. nephrolepis* – 1031 %. Все три вида хвойных деревьев обладают достаточно высокой теневыносливостью [2], а такое сильное увеличение в приросте обычно происходит после длительного угнетения деревьев. В отличие от хвойных лиственные виды *B. costata* и *T. amurensis* – светолюбивые растения, которые не способны длительное время переносить затенения [2]. Это отражается и на приросте: его максимальное изменение не превышает 800 %.

Таким образом, для древостоя малонарушенных кедрово-широколиственных лесов юга Дальнего Востока характерны естественные нарушения малого и среднего масштаба. Наиболее часто происходят выпадения отдельных деревьев, которые позволяют теневыносливым видам достичь полога древостоя. Естественные нарушения среднего масштаба происходят реже; образующиеся в результате окна дают возможность возобновляться светолюбивым видам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Колесников Б.П.* Кедровые леса Дальнего Востока. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 262 с.
2. *Чумаченко С.И., Яковлева А.И.* Построение количественной шкалы теневыносливости некоторых лесообразующих видов средней части Приморского края // Вестник Иркутской гос. с.-х. академии. 2014. 61. С. 74–80.
3. *Black B.A., Abrams M.D.* Use of boundary-line growth patterns as a basis for dendroecological release criteria // Ecol. Applications. 2003. 13: 1733–1749.
4. *Dejan F., Thomasa N., Jurij D.* Disturbance history and dynamics of an old-growth mixed species mountain forest in the Slovenian Alps // For. Ecol. Manag. 2009. 257: 1893–1901.
5. *Liu Q.J.* Structure and dynamics of the subalpine coniferous forest on Changbai mountain, China // Plant Ecol. 1997. 132: 97–105.
6. *Longshore D.* Encyclopedia of Hurricanes, Typhoons, and Cyclones // Infobase Publishing. 2008. 481 p.
7. *Lorimer C.G., Frelich L.E.* A method for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests // Canadian J. of For. Research. 1989. 19: 651–663.
8. *Omelko A.M., Ukhvatkina O.N., Zhmerenetsky A.A.* Disturbance history and natural regeneration of an old-growth Korean pine-broadleaved forest in the Sikhote-Alin mountain range, Southeastern Russia // For. Ecol. Manag. 2016. 360: 221–234.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 18-04-00120 и 18-04-00278).

УДК 630*111: 630*113: 574.42

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ И ПРОДВИЖЕНИЕ *PINUS SIBIRICA* DU TOUR В ГОРАХ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

И.А. ПЕТРОВ[1], А.С. ШУШПАНОВ[1, 3], А.С. ГОЛЮКОВ[1, 2], В.И. ХАРУК[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (petrovilsoran@gmail.com, shushpanov.as@ksc.krasn.ru, jedirevan@ya.ru, kharuk@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

В экотоне горной лесотундры Кузнецкого Алатау наблюдается продвижение деревьев *Pinus sibirica* du Tour по градиенту высоты. Зафиксирована смена лимитирующих радиальный прирост сибирской сосны факторов: стимулирующее влияние температуры воздуха сменяется ингибирующим в период возрастания засушливости климата и снижения влагосодержания почвы.

PINUS SIBIRICA DU TOUR RESPONSE TO CLIMATE CHANGE IN THE KUZNETSK ALATAU MOUNTAINS

I.A. PETROV[1], A.S. SHUSHPANOV[1, 3], A.S. GOLYUKOV[1, 2], V.I. KHARUK[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (petrovilsoran@gmail.com, shushpanov.as@ksc.krasn.ru, jedirevan@ya.ru, kharuk@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[3] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

In the ecotone of the Kuznetsk Alatau mountain forest tundra, *Pinus sibirica* du Tour is moving along elevation gradient. The change of limiting factors of Siberian pine radial increment was recorded: the stimulating effect of air temperature is replaced by inhibiting in the period of increasing climate aridity and decrease in soil moisture content.

В работе исследуется воздействие наблюдаемых изменений климата на радиальный прирост сибирской сосны (*Pinus sibirica* du Tour) и на ее продвижение по градиенту высоты.

Полевые работы проводились на восточном макросклоне Кузнецкого Алатау. В качестве объектов выступали деревья *Pinus sibirica*, растущие в экотоне горной лесотундры. Для оценки скорости продвижения древесных растений по градиенту высоты использовались данные полевых работ и ГИС-технологии. Для проведения дендроклиматического анализа была построена древесно-кольцевая хронология на основе 100 образцов древесины сибирской сосны с применением программ ARSTAN и COFECHA. В дендроклиматическом анализе использованы показатели температуры, суммы осадков и влагосодержания корнеобитаемого слоя.

Скорость продвижения верхней границы леса оценивалась на основе данных двух трансект, заложенных в экотоне горной лесотундры на склонах юго-западной и южной экспозиции исходя из возраста отдельных деревьев и высоты их произрастания над уровнем моря. Для сибирской сосны скорость продвижения в зону горной тундры определена 2–3м/10лет. По данным дистанционного зондирования, общее продвижение сомкнутых древостоев составило 19±0,3 м по высоте за период с 1976 по 2015 г., скорость продвижения по градиенту высоты ~ 5 м/10 лет.

На кривой древесно-кольцевой хронологии анализировались два основных периода (рис. 1). Первый период (1967–1981) – резкий спад прироста с минимумом в 1973 году с последующим восстановлением до среднего уровня. Второй период (1982–2001) – резкое возрастание прироста с последующим негативным трендом. При этом

средний радиальный прирост после 1980 года на 25 % превышает таковой за аналогичный предшествующий период.

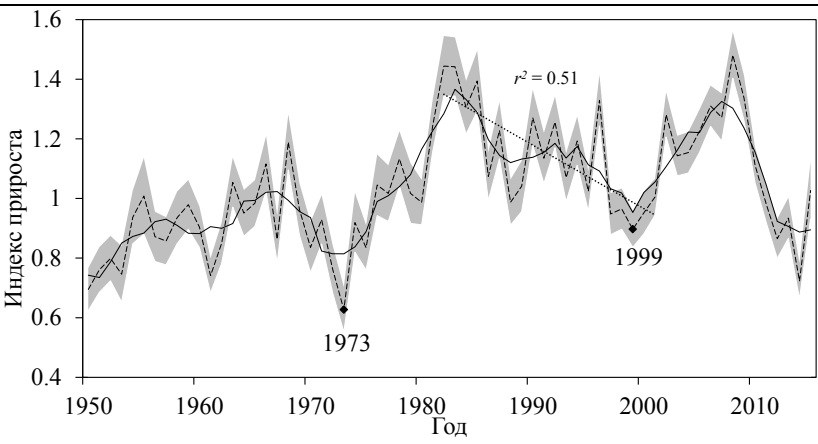


Рис. 1. Динамика радиального прироста *Pinus sibirica* в экотоне горной лесотундры Кузнецкого Алатау

Связь радиального прироста с осадками ноября – февраля стабильно отрицательная во всем периоде наблюдений (-0,45). Во время спада радиального прироста с 1967 по 1982 г. последний положительно и значимо коррелировал с температурой мая – июня (r = 0,66).

После 1982 и до 2001 года радиальный прирост положительно реагирует на сумму осадков июля – сентября (r = 0,51; рис. 2а) с возрастанием корреляции в период снижения влагосодержания корнеобитаемого слоя. В этот же период связь с температурой июля – сентября становится отрицательной (r = -0,65).

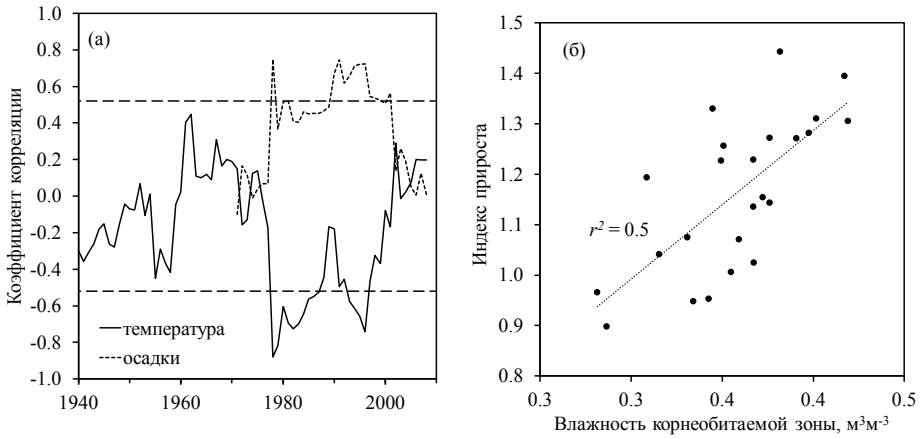


Рис. 2. а – скользящие коэффициенты корреляции между индексами радиального прироста и метеопараметрами (июль – сентябрь); б – связь между РП и влагосодержанием корнеобитаемого слоя. Пунктир – уровень значимости при $p < 0,05$

Появление значимой связи радиального прироста с осадками июля – сентября, а также смена реакции радиального прироста кедра с положительной корреляции с температурами за май – июнь на отрицательную с температурами за июль – сентябрь совпадает по времени с постепенным возрастанием атмосферной и почвенной засушливости (рис. 2б).

Минимум влагосодержания корнеобитаемого слоя приходится на 1998–1999 годы и совпадает с минимумом радиального прироста.

И хотя в условиях высокогорий увеличение засушливости климата вследствие возрастания температуры не сказывается на жизненном состоянии деревьев кедра, в зонах с сильным риском водного стресса радиальный прирост реагирует на снижение почвенной и атмосферной влажности, проявляя феномен дивергенции.

Выводы

1. Реакция *Pinus sibirica* на потепление климата в высокогорьях Кузнецкого Алатау, начавшееся в середине 1970-х, включало фазу стимулирования радиального прироста с последующей его депрессией в 1980–2000 гг.
2. В фазе возрастания радиальный прирост коррелировал с повышением температуры воздуха в начале вегетационного периода (май – июнь). Дальнейшее повышение температуры, повлекшее водный стресс, привело к снижению прироста после 1983–1984 гг. В фазе депрессии радиальный прирост негативно коррелировал с температурой воздуха и положительно – с параметрами увлажнения (влагосодержание корнеобитаемого слоя, осадки).
3. Возрастание температуры воздуха способствовало продвижению верхней границы древесной растительности и древостоев (скорость продвижения составила 2–3 м/10 лет и 5 м/10 лет соответственно).

БЛАГОДАРНОСТИ. Дендрохронологический и дендроклиматический анализ поддержан грантом РНФ № 17-74-10113. Анализ эколого-климатических переменных поддержан грантом РФФИ № 18-45-240003.

УДК: 630*8:582.47:812.14

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Е.А. ПЕТРУНИНА[1], П.В. МИРОНОВ[2], М.А. ПЛЯШЕЧНИК[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (petrunina@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (mpv175@yandex.ru)

Физико-химические свойства были исследованы с помощью методов термогравиметрии (ТГ/ДТГ) и растровой электронной микроскопии (РЭМ). Установлено изменение количественных термических и структурных характеристик исследованных образцов, отражающих изменение соответствующих свойств древесины, обусловленное гидродинамической активацией.

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND USE OF HYDRODYNAMICALLY ACTIVATED WOOD

Ye.A. PETRUNINA[1], P.V. MIRONOV [2], M.A. PLYASHECHNIK[1]

[1] V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (petrunina@ksc.krasn.ru)
[2] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia (mpv175@yandex.ru)

The physicochemical properties were studied using thermogravimetry (TG/DTG) and scanning electron microscopy (SEM). The change in the quantitative thermal and structural characteristics of the studied samples, reflecting the change in the corresponding properties of wood, due to hydrodynamic activation was found.

До настоящего времени проблема переработки древесных отходов, полученных при распиловке круглых лесоматериалов на деревоперерабатывающих предприятиях, остается актуальной. Лишь незначительная часть отходов используется в топливной промышленности, остальное вывозится в отвалы или сжигается, что наносит значительный вред окружающей среде [3]. Одним из перспективных способов использования растительной биомассы является ее применение в биотехнологии в качестве субстрата для получения белковых кормовых продуктов и органических удобрений [4].

В связи с этим для повышения эффективности биотехнологической переработки интенсивно исследуются и разрабатываются технологии предобработки растительной биомассы, в том числе древесных отходов. Особый интерес исследователей привлекает возможность использования кавитационной обработки древесного и недревесного растительного сырья. В основе метода лежит обработка растительного материала в водной среде в специальных устройствах – кавитаторах, или гидродинамических диспергаторах.

Целью настоящей работы являлось изучение физико-химических характеристик образцов исходной и гидродинамически активированной древесины для дальнейшего использования в микробиологических процессах.

В качестве объекта исследований использовались опилки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), полученные при распиловке круглых лесоматериалов. Влажность частиц древесины составляла ~ 80 %. Фракция опилок составила ~ 0,1–0,3 мм. Обработку проводили в гидродинамическом диспергаторе роторно-пульсационного типа [1]. Степень обработки древесины регулировалась продолжительностью воздействия. Исходные опилки (контроль) суспендировали в воде при таком же гидромодуле в режиме обычного перемешивания.

Далее исходные опилки и опилки после гидродинамической активации отфильтровывали, замораживали при -60 ºС и подвергали лиофильной сушке при -20 ºС и температуре конденсатора -60 ºС для сохранения структуры древесины в состоянии,

близком состоянию при максимальных значениях набухания и гидратации. После этого лиофильно высушенные образцы активированной и исходной древесины помещали в гигростаты при 25 ºС с определенной относительной влажностью воздуха 70, 80, 90 % (над растворами серной кислоты соответствующих концентраций) и выдерживали в течение месяца до достижения постоянной массы образцов.

Для удобства обсуждения результатов исследования введены следующие обозначения: С-К – контрольный образец исходной древесины; С-40(70), С-40(80) и С-40(90) – древесина после 40-минутной гидродинамической активации, выдержанная в гидростате с относительной влажностью воздуха 70, 80 и 90 % соответственно.

Термический анализ осуществляли с помощью прибора TG 209 F1 (NETZSCH, Германия). Скорость нагрева – 10 ºС·мин$^{-1}$ от 25 до 700 ºС, где скорость потока защитного и продувочного газов (воздух) 20 мл·мин$^{-1}$; масса образца – 4,33–5,56 мг. Обработка результатов измерений осуществлялась с помощью пакета программ, поставляемого с приборами NETZSCH Proteus Thermal Analysis 4.8.4.

Данные растровой электронной микроскопии образцов активированной древесины получены с помощью сканирующего электронного микроскопа TM-1000 (HITACHI, Япония) с рентгеноспектральным анализатором SwiftED-TM EDX (Oxford Instruments Analytical Ltd., Великобритания).

Ранее были рассмотрены гигроскопические свойства гидродинамически активированной древесины. Было установлено, что активация способствует увеличению в древесной массе количества микрообъемов и микрополостей. За счет освободившихся функциональных групп макромолекул биополимеров происходит формирование относительно слабых (физических) связей, что приводит к резкому росту количества конденсирующей объемной фазы в начале капиллярной конденсации (P/P_o = 0,75-0,8) [2].

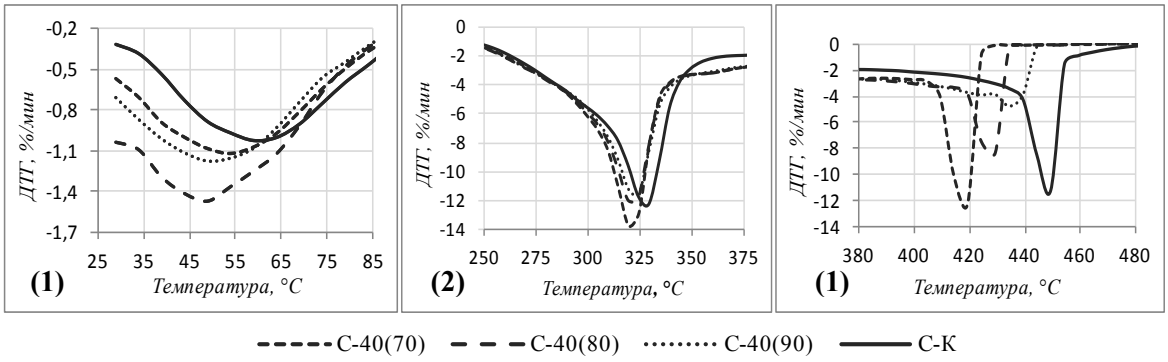


Рис. 1. ДТГ-кривые исходной и гидродинамически активированной древесины. 1 – температурный диапазон испарения влаги, 2 – температурный дтапазон термодеструкции углеводного комплекса, 3 – температурный диапазон термодеструкции полифенольного комплекса

На рис. 1 представлены результаты термогравиметрии (ДТГ-кривые) ряда образцов активированной древесины, из которых следует, что наиболее выраженные изменения, обусловленные гидродинамической активацией, связаны с полифенольным комплексом. Об этом свидетельствуют величины амплитуды пиков ДТГ и положение максимумов скорости потери массы по температуре.

Активация древесины изменяет ход термодеструкции в температурных диапазонах испарения влаги, преимущественного разложения углеводного и полифенольного комплексов (рис. 1). Наблюдается смещение температурных максимумов ДТГ образцов активированной древесины в область низких температур. В процессе термического разложения углеводного комплекса (250–375 °С) происходит основная потеря массы

образца, температура максимумов ДТГ изменяется незначительно. При этом термодеструкция полифенольного комплекса образцов сдвинута (по максимуму ДТГ) в область более низких температур по сравнению с исходной древесиной на ~ 15–30 °С. Смещение температурных максимумов в область низких температур, вероятно, связано с тем, что в процессе активации древесины происходит ее разрыхление и частичное разрушение клеточных стенок: это делает древесину менее устойчивой к воздействию низких температур (рис. 2). На рис. 2 представлены результаты анализа гидродинамически активированной древесины с помощью сканирующего электронного микроскопа.

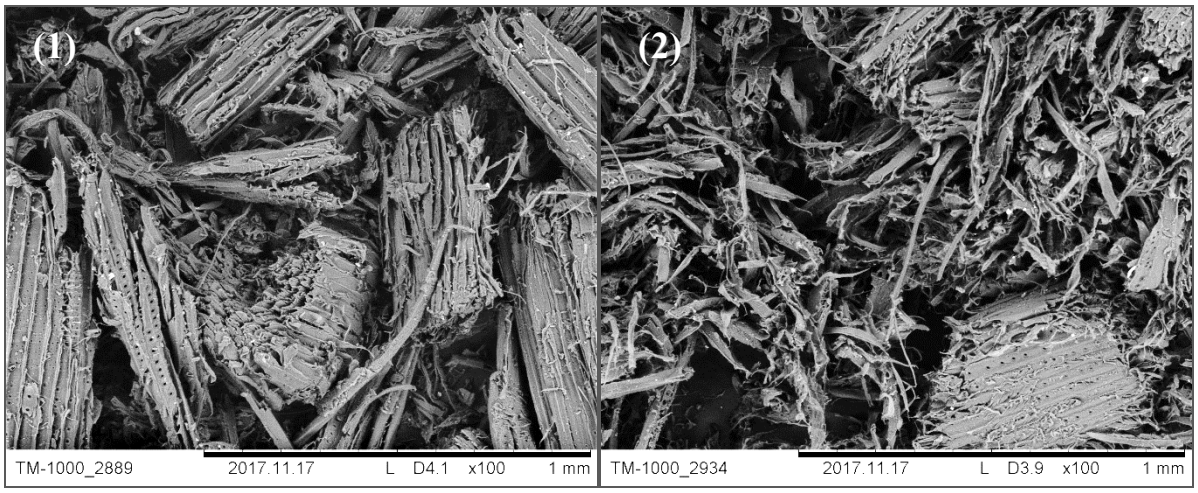


Рис. 2. РЭМ-изображение исходной древесины (1) и древесины после гидродинамической активации (2)

Резюмируя изложенное, следует отметить, что термические методы анализа и растровая электронная микроскопия позволяют получить важную информацию о продуктах предобработки растительного сырья, необходимую для создания новых и усовершенствования существующих способов переработки растительного сырья в полезные продукты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баяндин М.А., Ермолин В.Н., Елисеев С.Г.* Влияние механоактивации на аутогезионные свойства древесины // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31. № 1–2. С. 159–163.
2. *Петрунина Е.А., Лоскутов С.Р., Баяндин М.А., Ермолин В.Н., Миронов П.В.* Гидродинамическая обработка древесины: влияние на гигроскопические свойства // Строение, свойства и качество древесины − 2018: матер. VI Междунар. симпозиума имени Б.Н. Уголева, посвященного 50-летию Регионального координационного совета по современным проблемам древесиноведения, Красноярск, 10–16 сентября 2018 г. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. Стр. 158–161.
3. *Симкин Ю.Я.* Термохимическая переработка неликвидной древесины лиственницы сибирской // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: матер. III Всерос. конф., 23–27 апреля 2007 г., в 3 кн. под ред. Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. университета, 2007. Кн. 1. С. 248–254.
4. *Тарнапольская В.В., Алаудинова Е.В., Миронов П.В.* Перспективы использования базидиальных грибов для получения кормовых продуктов // Хвойные бореальной зоны. 2016. Т. 37. № 5–6. С. 338–341.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность д. т. н., профессору В.Н. Ермолину и к. т. н. М.А. Баяндину за помощь в подготовке образцов гидродинамически активированной древесины сосны.

УДК 57.033: 57.084.5: 58.009: 58.02 : 630*181.351

ФОТОАССИМИЛЯЦИЯ УГЛЕРОДА МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВЫМ ПОКРОВОМ СОСНОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ЗОНЫ ОХВАТА СТАНЦИИ ВЫСОТНОЙ МАЧТЫ ZOTTO

Д.А. ПОЛОСУХИНА[1], А.С. ПРОКУШКИН[1, 2], О.В. МАСЯГИНА[2]

[1] Институт экологии и географии Сибирского федерального университета, Красноярск, Россия (dana_polo@mail.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (prokushkin@ksc.krasn.ru, oxanamas@ksc.krasn.ru)

Исследованы фотоассимиляционные потоки углерода доминантных видов мохово-лишайникового яруса сосновых лесов, наиболее характерных для зоны охвата станции высотной мачты ZOTTO. Были определены запасы фито(био)массы живого напочвенного покрова сосняков лишайниковых и кустарничково-зеленомошных. Выявлены особенности фотоассимиляции доминантами как в течение вегетационного сезона, так и в зависимости от изменения абиотических факторов среды.

CARBON PHOTOASSIMILATION OF MOSS-LICHEN COVER IN PINE ECOSYSTEMS OF THE ZOTTO TOWER FOOTPRINT AREA

D.A. POLOSUKHINA[1], A.S. PROKUSHKIN[1,2], O.V. MASYAGINA[2]

[1] Institute of ecology and geography, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (dana_polo@mail.ru)
[2] V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (prokushkin@ksc.krasn.ru, oxanamas@ksc.krasn.ru)

The stocks of phyto(bio)mass of living ground cover consisting of dwarf shrubs, lichens and feathermosses were estimated in pine forests located within the footprint area of ZOTTO international observatory. CO_2 photosassimilation dynamics was analyzed for dominant species of moss-lichen layer throughout the growing season. In parallel we assessed the role abiotic environmental factors on photoassimilation intensities.

В связи с изменением климата экосистемы бореального биома из стока углерода атмосферы [2] в дальнейшем могут перейти в источник дополнительного его поступления [7]. Отрицательный баланс экосистемных потоков С в бореальной зоне прогнозируется вследствие превышения экосистемного дыхания, т. е. увеличения минерализационного потока С из почв, над его фотоассимиляцией [3, 6]. Мохово-лишайниковый ярус растительности может играть ключевую роль в аккумуляции углерода, поскольку составляет 30–94 % от общего запаса биомассы экосистем [4, 5]. Таким образом, оценка запасов и «уязвимости» рассматриваемого яруса растительности бореальных биогеоценозов к повышению температур, определяющаяся во многом составом напочвенного покрова, остается одной из главных задач в современных исследованиях круговорота углерода.

Целью данной работы было определение запасов мохово-лишайникового яруса и фотоассимиляционной активности доминантных видов в течение вегетационного периода. Районом исследования выбрана территория Средней Сибири, а именно южная часть Туруханского района Красноярского края. Сбор материала и измерения фотосинтеза осуществлялись в сосняках беломошном и зеленомошном близ мачты ZOTTO, расположенной в районе поселка Зотино (60° с. ш., 89° в. д.).

Для оценки запасов фито(био)массы образцы травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового яруса были отобраны методом укосов в 100 повторностях ($S = 50$ см^2) для каждого типа леса. Определение интенсивности фотоассимиляционных потоков CO_2 осуществлялось с помощью инфракрасного газоанализатора Walz GFS – 3000. Фотосинтетическая активность исследуемых ярусов определяется изменениями факторов среды в течение вегетационного периода и их суточной динамикой. В работе рассмотрены

зависимости обменных потоков CO_2 (фотосинтеза/дыхания) от основных внешних факторов: влажности и температуры, фотосинтетически активной радиации (ФАР) и концентрации CO_2 [1].

В исследованных сосняках запасы фитомассы в живом напочвенном покрове варьируют от 341±198 г/м^2 в лишайниковых типах леса до 830±341 г/м^2 в зеленомошных. На долю мохово-лишайникового яруса приходится 78–96 % общей фитомассы живого напочвенного покрова, что сопоставимо с фотосинтезирующей фитомассой древесного яруса (хвоя сосны). Основными доминантами растительности для мохово-лишайникового яруса являются: *Cladonia stellaris*, *Cladonia rangiferina*, *Cetraria islandica*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Aulacomnium palustre*. Так, в живом напочвенном покрове сосняка лишайникового большая часть запасов био(фито)массы приходится на следующие виды лишайников: *Cladonia stellaris* (41 %), *Cladonia rangifera* (32 %), *Cetraria islandica* (16 %). Для сосняка зеленомошного основная часть запасов принадлежит видам мхов: *Pleurozium schreberi* (35 %), *Hylocomium splendens* (21 %), *Aulacomnium palustre* (10 %).

В течение вегетационного сезона ассимиляция углерода мохово-лишайниковым ярусом варьировала в относительно узких пределах от 38±4 до 42±5 мгCO_2/м^2 час у *Cladonia stellaris* и от 93±11 до 99±13 мгCO_2/м^2 час у *Pleurozium schreberi*. При температуре 0 °С у исследуемых видов мохово-лишайникового покрова отмечено преобладание выделения CO_2 над его поглощением. С повышением температуры наблюдался рост интенсивности ассимиляции, причем ингибирования высокими температурами (до 40 °С) не отмечено. Различий в температурной зависимости фотоассимиляции между зелеными мхами и лишайниками не обнаружено. Максимальная интенсивность ассимиляции при 40 °С для *Cladonia stellaris* составила 0,35 мгCO_2/г*час, а для *Pleurozium schreberi* – 0,37 мгCO_2/г*час (рис. 1а, г).

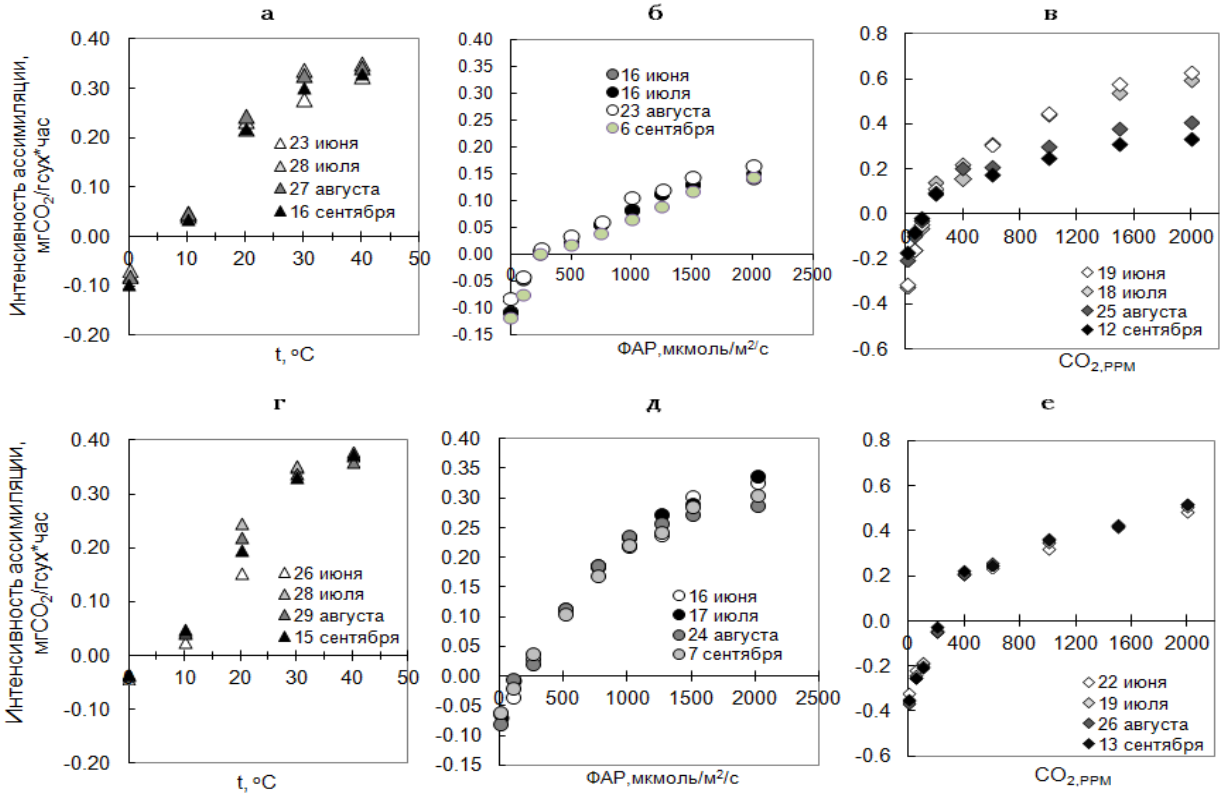


Рис. 1. Интенсивность фотоассимиляции *Cladonia stellaris* и *Pleurozium schreberi* в зависимости от изменения факторов среды: а и г – ФАР, б и д – температура воздуха, в и е – концентрация CO_2 соответственно

Вместе с тем выявлены различия в фотоассимиляции между зелеными мхами и лишайниками в зависимости от ФАР. Так, у мхов интенсивность ассимиляции в 2 раза выше, чем у лишайников. Для *Pleurozium schreberi* наибольшая величина при ФАР=2000 мкмоль/м^2/с составила 0,33 мгCO_2/г*час, а у *Cladonia stellaris* – 0,16 мгCO_2/г*час (рис. 1б, 1д). Точка компенсации у *Cladonia stellaris* варьировала в течение сезона: в июне она наблюдалась при ФАР=249 мкмоль/м^2/с, а в сентябре снижалась до 199 мкмоль/м^2/с (рис. 1б). У *Pleurozium schreberi* в июне точка компенсации наблюдалась при ФАР=161 мкмоль/м^2/с, а в сентябре при ФАР=147 мкмоль/м^2/с (рис. 1б). При анализе зависимости фотосинтеза от концентрации CO_2 для *Cladonia stellaris* отмечен рост фотоассимиляции, которая в июне и июле при CO_2=2000 ppm составила около 0,6 мгCO_2/г*час, но понижалась в конце сезона (рис. 1в). У *Pleurozium schreberi* сезонных изменений выхода фотосинтеза от концентрации CO_2 не наблюдалось, составляя около 0,5 мгCO_2/г*час при CO_2=2000 ppm (рис. 1е).

В заключение следует подчеркнуть, что запасы фито(био)массы мохово-лишайникового яруса в сосновых лесах района исследований сопоставимы с фотосинтезирующей фитомассой древесного яруса. При этом доминанты мохово-лишайникового яруса сохраняли высокую фотоассимиляционную активность в течение всего вегетационного сезона, когда проводились исследования (июнь – сентябрь 2018 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барри Д.А., Даунтон У.Д.С.* Зависимость фотосинтеза от факторов окружающей среды // Фотосинтез. 1987. 2. С. 273–364.
2. *Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Круглов В.Б., Онучин А.А., Сухинин А.И., Шибистова О.Б.* Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал. 2005. 4. С. 631–649.
3. *Масягина О.В., Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Мори Ш., Койке Т.* Эмиссия CO_2 с поверхности напочвенного покрова в лиственничниках Центральной Эвенкии // Лесоведение. 2005. 6. С. 19–29.
4. *Нагимов В.З., Артемьева И.Н., Луганский Н.А., Нагимов З.Я.* Особенности формирования надземной фитомассы сосновых насаждений лишайникового типа леса // Леса России и хозяйство в них. 2009. 2 (32). С. 3–9.
5. *Bryant D., Nielsen D., Tangley L.* et al. The last frontier forests // World Resources Institute [WRI], Forest Frontiers Initiative. 1997. P. 39.
6. *Mori S., Yamaji K., Ishida A. et al.* Mixed-power scaling of whole-plant respiration from seedlings to giant trees // PNAS. 2010. 107 (4): 1447–1451.
7. *Schulze E.-D., Prokuschkin A.S., Arneth A. et al.* Net ecosystem productivity and peat accumulation in a Siberian Aapa mire // Tellus, serie B. 2002. 531–536.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы признательны за помощь в организации полевых исследований сотрудникам лаборатории биогеохимических циклов лесных экосистем Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-05-60203 Арктика) и договором № 399 между ИЛ СО РАН и Университетом Умео (Швеция).

УДК 930*5+632.938

МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ ПРИГОРОДНЫХ СОСНЯКОВ КРАСНОЯРСКА КАК ИНДИКАТОРОВ ТОКСИЧНОСТИ ПРОМВЫБРОСОВ

Г.Г. ПОЛЯКОВА[1], Н.В. ПАШЕНОВА[1], В.А. СЕНАШЕВА[1], Н.М. ПОДОЛЯК[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (ggpolyakova@mail.ru)
[2] Сибирский институт бизнеса, управления и психологии, Красноярск, Россия (docent-245@mail.ru)

В 2002–2018 гг. проводили ежегодный мониторинг на 4–5 постоянных пробных площадях (ПП) с пронумерованными деревьями (200–250 экз. на каждой ПП) в средневозрастных высокополнотных пригородных сосняках в 7 км от Красноярска. По морфологическим, таксационным и физиологическим (иммунным) параметрам оценены хронология токсичности поллютантов, период восстановления деревьев после низового пожара.

LONG-TERM MONITORING OF KRASNOYARSK SUBURBAN PINE STANDS AS INDICATORS OF TOXICITY OF POLLUTANTS

G.G. POLYAKOVA[1], N.V. PASHENOVA[1], V.A. SENASHOVA[1], N.M. PODOLYAK[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (ggpolyakova@mail.ru)
[2] Siberian Institute of Business, Management and Psychology, Krasnoyarsk, Russia (docent-245@mail.ru)

In 2002–18 we had been carrying out annual monitoring at 4–5 permanent sample plots (PPs) with numbered trees (200–250 copies per each plantation) in middle-aged high degree of density pine stands 7 km from Krasnoyarsk. The chronology of toxicity of pollutants, the period of recovery of trees after a creeping fire was evaluated by morphological, taxation and physiological (immune) parameters.

ПП 1, 2, 5 были заложены в сосняке «А», ПП 3–4 – в сосняке «В». Сосняк «А» расположен по направлению доминирующих ветров от Красноярска. Сосняк «В» находится с противоположной стороны от промышленного мегаполиса (табл. 1).

Таблица 1. Таксационная характеристика сосняков на ПП на 1 га в год закладки ПП и в 2018 г.

№ПП	Год учета	Состав	Полнота	Основной элемент леса	Возраст, лет	Категория	Высота, м	Диаметр, см	Запас растущего леса, м^3	Запас сухостоя, м^3	Густота растущего леса, шт.	Густота сухостоя, шт.
1	2002	10С*II*+С*I*	1,4	С*II*	57	1,6	18,1	18,5	396	6	1671	56
»	2018	10С*II*+С*I*	1,6	»	73	1,5	21,4	22,2	544	16	1378	119
2	2002	9С*II*+С*I* ед.Б	1,5	С*II*	58	1,4	21,3	21,9	489	10	1286	36
»	2018	10СII+СI	1,6	»	74	1,4	25,2	26,1	653	14	1064	79
3	2002	9С1Б ед.Л	1,5	С	62	1,3	21,1	20,4	472	8	1430	81
»	2018	9С1Б ед.Л	1,6	»	79	1,6	25,0	24,8	608	32	1089	193
4	2002	9С1Л+Б	1,5	С	62	1,4	20,9	19,6	503	9	1664	172
»	2017	9С1Л+Б	1,6	»	80	1,7	25,3	25,2	615	47	1062	305
5	2005	9С*II*1С*I*	1,5	С*II*	59	1,5	16,3	16,4	339	3	1980	41
»	2017	9СII1СI	1,6	»	72	1,5	18,6	18,8	428	8	1709	74

Примечание. С*I* и С*II* – сосна первого (материнского) и второго (дочернего) поколений соответственно (*Pinus sylvestris* L.); Б – береза; Л – лиственница; 10, 9, 1, +, ед. – коэффициенты участия породы (элемента леса) в составе древостоя, определяемые по запасу растущего леса, то есть 100, 90, 10, 2–5 % и менее 2 % запаса.

В сосняках наряду с таксационными параметрами оценивалась возможность диагностики состояния древостоя по характеристикам ответа флоэмы ствола на инокуляцию экстрактами мицелия офиостомового гриба (рис. 1). Эти грибы

приспособлены к обитанию в проводящих тканях ствола. Мы показали, что параметры этого ответа аналогичны таковым для живого мицелия [4]. Возможность диагностики основана на выдвигаемой нами гипотезе о связи параметров некротического ответа с повреждением хвои внешними факторами. Гипотеза основана на предположении, что (1) грибные элиситоры, включающие некротизацию флоэмы, диффундируют в большей степени в направлении транспорта ассимилятов; 2) повреждение хвои может вызвать доминирование восходящего транспорта ассимилятов над нисходящим, что согласуется с моделью бинаправленного транспорта сахаров во флоэме [3].



Рис. 1. Некроз флоэмы ствола после удаления мертвой коры через 4 недели после внесения 0,5 мг экстракта из мицелия гриба *Ceratocystis laricicola* Redfern&Minter [5]

В 2002–2018 гг. отмечена устойчивая тенденция увеличения балла категории состояния условно-фонового сосняка «В» (рис. 2), что свидетельствует об ухудшении его состояния. Эта тенденция стала более выраженной после визуально зарегистрированного массового некроза хвои верхней части крон, достигавшего 10–15 % от всей кроны в период 2012–2018 гг. В сосняке «А» в этот же период некроз хвои проявлялся в меньшей степени и отмечался лишь у единичных деревьев. Ухудшение состояния сосняка «В» по сравнению с «А», по-видимому, вызвано увеличением токсичности выбросов в Красноярске и меньшей адаптированностью к ним сосняка «В», поскольку он подвергался воздействию поллютантов меньший период, чем сосняк «А».

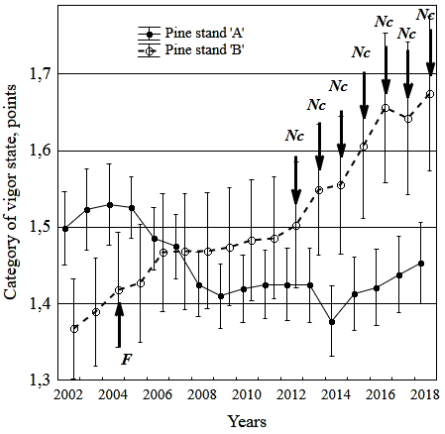


Рис. 2. Состояние сосняков «А» и «В» в 2002–2018 гг. (увеличение балла категории состояния деревьев соответствует ухудшению их состояния). В сосняке «В» весной 2004 г. был зарегистрирован низовой пожар с высотой нагара на стволах около 2 м (отмечен стрелкой со значком «F») и в 2012–2018 гг. – масштабный химический ожог хвои («Nc») (фитопатологический анализ не выявил в хвое грибной инфекции). Указаны средние (средневзвешенные по объему стволов для 300–400 деревьев) и их ошибки

Массовые ожоги хвои, очевидно, обусловлены увеличением токсичности выбросов Красноярского алюминиевого завода в последние годы. Показано накопление фтора (индикатора деятельности КрАЗа в экосистемах Красноярска) [1, 2]. Ожоги хвои в сосняке «В», как и пожар 2014 г., усилили отпад деревьев (рис. 3).

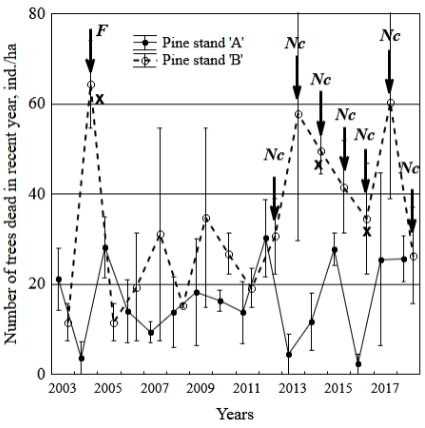


Рис. 3. Изменение числа деревьев, усохших в текущем году, за период наблюдения на ПП в 2002–2018 гг. В сосняке «В» весной 2004 г. был зарегистрирован низовой пожар с высотой нагара на стволах около 2 м (отмечен стрелкой со значком «F»), а в 2012–2018 гг. – масштабный некроз хвои («Nc»). Знаком «X» отмечено достоверное различие между сосняками «А» и «В» (p<0,05 по t-критерию) Указаны средние и их ошибки; количество ПП в сосняке «А» равно 3 (до 2005 г. 2), а в «В» – 2.

В сосняке «А» некроз был, как правило, смещен вниз относительно инокуляционного отверстия, что соответствует нормальному нисходящему транспорту сахаров по стволу от кроны к корням (рис. 4). Другая «картина» с сосняком «В»: за период наблюдений отмечены 2 «скачка» некроза вверх по стволу. Первый «скачок» был зарегистрирован в сосняке «В» в 2004 г. после весеннего интенсивного низового пожара с высотой нагара на стволах до 2 м. При пожаре такой силы в штиль деревья не могли избежать термического повреждения хвои крон. Второй «скачок», зафиксированный в 2013 г., попал в пределы периода 2012–2018 гг., когда в сосняке «В» были зарегистрированы массовые некрозы хвои.

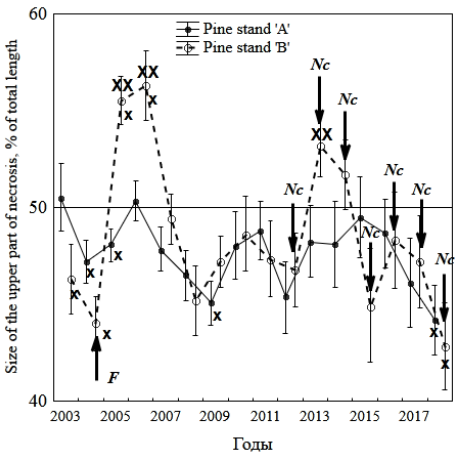


Рис. 4. Смещение некроза флоэмы относительно инокуляционного отверстия, в которое было внесено 0,5 мг экстрактивных веществ из мицелия гриба *C. laricicola.* Знаком «x» отмечены достоверные различия между размерами верхней и нижней части некроза по *t*-критерию ($p<0,05$), «XX» – между сосняками «А» и «В» ($p<0,05$). Приведены средние для 30–40 деревьев, их ошибки

На основании полученных результатов нами была выдвинута гипотеза, объясняющая связь между вертикальным смещением некроза в лубе ствола относительно инокуляционного отверстия и повреждением хвои экологическими факторами (химическим или термическим). Гипотеза основана на предположении, что грибные элиситоры, включающие некротизацию флоэмы, диффундируют в большей степени в направлении транспорта ассимилятов. Повреждение хвои крон в сосняке каким-либо фактором изменяет нисходящий транспорт на восходящий, что улучшает обеспеченность процессов репарации хвои ассимилятами, и некротическое пятно оказывается смещено к кроне.

Высокополнотные сосняки зеленого пояса городов могут быть использованы как биоиндикаторы качества воздуха, что важно для промышленных мегаполисов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Коловский Р.А., Бучельников М.А.* Мониторинг загрязнения заповедника «Столбы» фтором // Сибирский экологический журнал. 2008. 15 (3). С. 507–513.
2. *Отнюкова Т.Н.* Купена лекарственная (*Poligonatum odoratum*) – индикатор атмосферного загрязнения фтором // Вестник КрасГАУ. 2013. 4. С. 111–117.
3. *Eschrich W.* Bidirectional Transport // Transport in Plants I (Encyclopedia of Plant Physiology) / Eds. Zimmermann M.H., Milburn J.A. Berlin, New York: Springer-Verlag, 2018. 245–255.
4. *Polyakova G.G., Pashenova N.V., Polyakov V.I. and Zrazhevskaya G K.* Induction of conifer immune responses by phytopathogenic fungus metabolites // Russian Journal of Plant Physiology. 2008. 55 (4): 496–502.
5. *Polyakova G.G., Stasova V.V. and Pashenova N.V.* Defense response of pine stem phloem to wounding and treatment with mycelial extracts from *Ceratocystis laricicola*. Russ J Plant physiol. 2011. 58 (5): 819–827.

УДК 630.434

СОСНОВО-МЕЛКОЛИСТВЕННАЯ ФОРМАЦИЯ ЗАПОВЕДНИКА «СТОЛБЫ» ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ

Д.Ю. ПОЛЯНСКАЯ, Н.В. ГОНЧАРОВА

Государственный природный заповедник «Столбы», Красноярск, Россия (nau-stolby@yandex.ru)

Приводится краткая информация по изменениям, произошедшим за 18-летний период на постоянных пробных площадях, заложенных в рекреационном районе заповедника «Столбы» для изучения послепожарной сукцессии в сосново-мелколиственной формации после низового пожара.

PINE SMALL-LEAVED FORMATION OF «STOLBY» RESERVE UNDER THE INFLUENCE OF GROUND FIRE.

D.Yu. POLYANSKAYA, N.V. GONCHAROVA

State Nature Reserve «Stolby» Krasnoyarsk, Russia (nau-stolby@yandex.ru)

There is a brief information about the changes that have occurred over the 18-year period on permanent sample plots established in the recreational area of the «Stolby» reserve for studying post-fire succession in the pine small-leaved formation after a ground fire.

Введение. Заповедник «Столбы» расположен на юге Красноярского края, в окрестностях г. Красноярска. В отличие от других заповедников России, здесь исторически сложилось функциональное зонирование территории, более характерное для национальных парков, с выделением рекреационной зоны (туристско-экскурсионный район). Являясь излюбленным местом отдыха жителей и гостей города, заповедник активно посещается туристами, и лесные экосистемы подвергаются повышенной рекреационной нагрузке, вызывающей не только нарушения живого напочвенного покрова и почв, которые приводят к дигрессивным процессам, но и горимость территории. Практически ежегодно леса горят. Как правило, более 90 % возникающих на территории заповедника пожаров происходят вследствие несоблюдения режима особой охраны: это несанкционированное разведение костров, замусоривание (включая стекло и непотушенные окурки), неосторожное обращение рекреантов с огнем и прочее. При достаточно низком классе природной пожарной опасности лесов, определенном до 2007 года [6], горимость обусловливается погодными условиями, пирологической расчлененностью местности и количеством источников огня как природного, так и антропогенного характера [8]. На территории, по материалам прошлых лет [7, 8], преобладают низовые пожары. По времени они относятся преимущественно к весеннему, наиболее пожароопасному, периоду сезона и начинаются с загорания напочвенных горючих материалов. Приурочены в основном к низкогорной части заповедника, к насаждениям сосново-мелколиственной формации [6, 7].

Низовые пожары средней интенсивности, как правило, не приводят к немедленной и полной гибели насаждений, однако могут существенно ослаблять деревья, которые со временем частично отмирают и вываливаются. С другой стороны, низовые пожары могут являться экологическим фактором, благодаря которому сосняки прочно удерживают свои позиции [9].

Материалы и методика. В 2000 г. в Приенисейской части заповедника, в долине р. Лалетина, в насаждениях сосново-мелколиственной формации были заложены 5 пробных площадей (ПП) для оценки послепожарного состояния, а также процесса восстановления насаждений в горельниках разного возраста давности [2]. Летом 2018 года с целью проследить сукцессионные изменения, произошедшие на

данных пробных площадях, были осуществлены повторные геоботанические описания с использованием стандартных методик [5, 6].

Основная часть. Пробные площади 1-к и 1-оп расположены на гриве, в верхней части склона юго-западной экспозиции, 512 м н. у. м. ПП 1-к (условный контроль) была заложена в сосняке злаково-осочково-чернично-зеленомошном, последний низовой пожар в котором прошел в 1980 году [2]. По материалам 2018 года это сосняк чернично-осочково-злаковый, формула состава древостоя практически та же (8С1Л1Б, ед П); возобновление редкое (5П3С1Е1Л+Б), значительно уменьшилась роль соснового подроста. ПП 1-оп (опытная) заложена в сосняке разнотравно-коротконожково-осочковом, низовой пожар прошел в 1999 г. Сегодня это сосняк злаковый (7С2Л1Б); возобновление практически отсутствует, представлено мелким и средним березово-пихтовым подростом (6П4Б). В живом напочвенном покрове доминируют злаки, увеличилось обилие и проективное покрытие черники.

ПП 2-к и 2-оп расположены в верхней 1/3 части склона юго-восточной экспозиции, 470 м н. у. м. ПП 2-к была заложена в сосняке орляково-осочковом, последний низовой пожар прошел в 1970 или 1975 году [2]. По материалам 2018 г., это сосново-осочковый фитоценоз, в состав древостоя вошла береза (8С2Б+Л); возобновление редкое, по породному составу то же (7С2П1К+Б, Е), но появился мелкий подрост кедра, а около 36 % соснового подроста является нежизнеспособным. ПП 2-оп заложена в сосняке осочково-орляковом, пожар прошел в 1999 г., предыдущий пожар был в 1980 г. [2]. Сегодня это сосново-осочково-злаковый фитоценоз; формула состава древостоя 7С2Б1Л, ед Ос+П, по сравнению с 2000 г. увеличилась роль березы; возобновление представлено немногочисленным, но мелким подростом (7С2К1П), средний и крупный подрост 2000 г. не отличался жизнеспособностью и выпал.

ПП3-оп была заложена в нижней 1/3 части склона юго-восточной экспозиции, 350 м н. у. м., в сосняке кустарниково-крупнотравно-вейниково-осочковом, пожар прошел в 1999 г. Контроля для этой ПП в 2000 году найдено не было. Сегодня это сосново-кустарниковый злаково-осочковый фитоценоз (7С2Б1Л, ед П+Е), увеличилось количество сухостоя сосны, возросла роль березы, единично в первый ярус вышла пихта; возобновление немногочисленное, но благонадежное; породный состав тот же (3С3Е3Ос1П), присутствуют всходы кедра. Подробные описания изложены в Летописи природы заповедника за 2018.

Обсуждение. В исследуемых древостоях сократилось общее количество деревьев, соответственно изменились и другие таксационные показатели насаждений.

В живом напочвенном покрове большинства площадей укрепила свои позиции осочка большехвостая. Увеличилась фитоценотическая роль злаков, в основном за счет разрастания вейников. В 2000 г. произрастал один вид *Calamagrostis arundinacea*, единично встречался *C. obtusata*, с небольшим обилием (r, Sol, максимум – cop1); сегодня это три вида (*C. arundinacea, C. obtusata и C. epigeios*), со средним обилием cop2 и средним проективным покрытием 21,1 %. Коротконожка (*Brachypodium pinnatum)* также увеличила обилие и проективное покрытие. Орляк (*Pteridium pinetorum*) остался на тех же позициях, немного расширив площадь произрастания. Увеличили обилие, проективное покрытие и площадь произрастания такие лесные виды, как костяника (*Rubus saxatilis*), чина Гмелина (*Lathyrus gmelinii*), ирис русский (*Iris ruthenica*), чина низкая (*Lathyrus humilis*). Восстанавливаются представители семейства вересковых, борово-таежные виды: ортилия однобокая (*Ortillia secunda*), черника (*Vaccinium myrtillus*) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea*). Последние два вида, произрастающие в 2000 году в основном на гривке, сегодня на ПП 2-оп образуют крупные куртины с обилием sp-cop1gr и в средней части склона. Обилие черники и брусники на контрольной площади в верхней части склона несколько уменьшилось, в

то время как на опытной ПП (так же, как и на площадях в средней части склона) увеличилось. Появились виды, отсутствующие на площадях в 2000 году: дудник (*Angelica sylvestris*) и горошек лесной (*Vicia sylvatica*). Семейство орхидных, представленное 18 лет назад двумя видами – гудайерой (*Goodyera repens*) и башмачком капельным (*Cypripedium guttatum*), сегодня более многочисленно. Кроме вышеупомянутых видов это дремлик (*Epipactis helleborine*), любка двулистная (*Platanthera bifolia*) и гнездовка красноярская (*Neottia krasnojarica*), демонстрирующие прекрасную жизненность.

Экологическая структура видового состава на всех ПП с 2000 года практически не изменилась, преобладают мезофиты (табл. 1).

Таблица 1. Классификация видов на пробных площадях по экологическим группам

ПП/ Экологическая группа	1-кон	1-оп	2-кон	2-оп	3-оп
Мезофиты	29	26	26	26	32
Мезоксерофиты	6	7	8	10	10
Мезогигрофиты	2	2	2	2	1
Ксерофиты	1	-	-	-	-
Мезопсихрофиты	1	1	-	1	1
Кол-во видов	40	37	37	40	45

В поясно-зональном спектре исследуемых площадей максимальное разнообразие характерно для лесных видов (81 % от общего количества), из них на долю светлохвойно-лесного элемента приходится 43 %, темнохвойно-лесного – 7 %. На втором месте по разнообразию представлена неморальная группа лесных видов, 12 % от общего количества. Среди адвентов – единично бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*) и горошек мышиный (*Vicia cracca*).

Сходство опытных участков с контролем со временем растет, что говорит о постепенном восстановлении состава исходных фитоценозов и подтверждается высокими значениями коэффициента Жаккарда (коэффициент флористического сходства). Так, коэф. Жаккарда ПП 1-к, 1-оп и 2-к, 2-оп равен 64 %. Материалы 2000 года демонстрируют большее значение коэффициента для контрольных и опытных площадей в верхней части склона – 70 %, в средней же части склона для 2-к, 2-оп он был равен 40 %. Вероятно, это связано с тем, что низовой пожар в меньшей степени повлиял на жизненное состояние сосняков, расположенных в верхней части склона [2].

Заключение. В ярусе древостоя увеличилось разнообразие породного состава, единично в формулу состава вошла пихта, береза; на опытных пробах отмечено некоторое изреживание – уменьшение общего количества деревьев, общей сомкнутости древесного яруса. Но в целом глазомерная оценка жизненного состояния [1] характеризует все древостои как здоровые (средний показатель жизненного состояния древостоев около 86,6 %).

Возобновление благонадежное, но немногочисленное. Количество подроста и самосева на ПП в основном уменьшилось, на некоторых площадях уменьшилась фитоценотическая роль соснового подроста, преобладает пихтовый, на трех из пяти в состав подроста вошел кедр.

Кустарниковый ярус разросся, имеет большее обилие и проективное покрытие. Как и в 2000 г. в верхней части склона, развит слабо, доминирует спирея дубровколистная (*Spiraea chamaedryfolia*), в нижней части склона более обилен, образует два подъяруса, нижний сложен спиреей, верхний – караганой древовидной (*Caragana arborescens*) и кизильником черноплодным (*Cotoneaster melanocarpus*).

В травяно-кустарничковом ярусе произошла смена доминантов. Создают фон злаки (вейники, коротконожка) и осочка. Отмечается восстановление орхидных. На всех ПП уменьшилось количество видов за счет выпадения из состава пирогенных анемохоров (иван-чай, бодяк) и некоторых лесостепных видов, что свидетельствует о возвращении сообществ к естественному состоянию.

Моховой ярус за 18-летний период восстановился, представлен обычными для заповедника зелеными мхами. На пробных площадях имеет различное проективное покрытие. Маршанция (*Marchantia polymorpha*) – послегаревый вид – полностью выпала из состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
2. *Кадеров Э.А.* Послепожарное состояние эдификаторного яруса горных лесных биоценозов. Летопись природы заповедника «Столбы» 2000, 2001 г. Фонд заповедника.
3. *Летопись* природы заповедника «Столбы» за 2000, 2017 г. Фонд заповедника.
4. *Методика* полевых геоботанических исследований. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 215 с.
5. *Полевая* геоботаника. Т. 4. Л.: Наука, 1972. 336 с.
6. *Проект* организации и ведения лесного хозяйства Государственного учреждения Государственный природный заповедник «Столбы» Федеральной службы в сфере природопользования Министерства природных ресурсов Российской Федерации. Т. I. Кн. 1. 2007. 337 с.
7. *Тимошкина О.А., Тимошкин В.Б.* Итоги мониторинга природных пожаров в заповеднике «Столбы». Труды Гос. заповедника «Столбы». Вып. IX. Красноярск, 2010. С. 100–104.
8. *Цветков П.А.* Влияние рекреации на природную пожарную опасность сосновых лесов заповедника «Столбы» // Хвойные бореальной зоны. Т. XXIV. № 1. Красноярск, СибГТУ, 2007. С. 72–79.
9. *Шумилова Л.В.* Ботаническая география Сибири. Томск: Томский университет, 1962. 439 с.

УДК 630*43; 528.88

ДАННЫЕ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРЯМЫХ ПОЖАРНЫХ ЭМИССИЙ

Е.И. ПОНОМАРЕВ, Е.Г. ШВЕЦОВ, Т.В. ПОНОМАРЕВА, В.И. ХАРУК

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (evg@ksc.krasn.ru)

Предложен и апробирован инструментальный метод определения эмиссий лесных пожаров, учитывающий интенсивность горения на основе спутниковой (Terra/MODIS) регистрации мощности теплоизлучения (FRP). Средняя величина эмиссий лесных пожаров в Сибири составила 83±21 Тг С/год (2002–2016 гг.). Получены прогностические тренды пожарных эмиссий в Сибири до конца XXI в. при реализации климатических сценариев RCP2.6, RCP4.0 и RCP8.5.

REMOTE SENSING DATA FOR FIRE EMISSIONS FORECASTING

E.I. PONOMAREV, E.G. SHVETSOV, T.V. PONOMAREVA, V.I. KHARUK

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (evg@ksc.krasn.ru)

A method for estimating direct fire emissions, considering the intensity of burning is proposed using satellite (Terra/MODIS) data on fire radiative power (FRP). The averaged estimate of direct fire emissions in Siberia was 83 ± 21 Tg C/year (for 2002–2016). For Siberia prognostic trends of fire emissions have been obtained until the end of the XXI century when implementing climate scenarios RCP2.6, RCP4.0 and RCP8.5.

Пожары в лесах Сибири определяют значимый вклад в статистику углеродных эмиссий в планетарном масштабе. Согласно некоторым прогнозам [5, 11, 14, 15, 21], уровень эмиссий может увеличиться вдвое во второй половине XXI в. С учетом современного масштаба горимости лесов Сибири [1, 2] задача мониторинга и прогнозирования пожарных эмиссий требует привлечения инструментальных методов на основе дистанционных спутниковых данных. В частности, необходимо иметь возможность дифференциального учета интенсивности горения на всех стадиях развития пожара. Цель работы – создание инструментальной технологии оценки и прогнозирования прямых пожарных эмиссий.

В работе использован банк пожаров, фиксируемых спутниковыми средствами, Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН. Вычисляли также мощность тепловыделения пожаров из продукта MOD14/MYD14 (https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/) с использованием методики Fire Radiative Power (FPR). Данный показатель связан с интенсивностью горения [18]. Оценки запасов лесных горючих материалов были обобщены по материалам публикаций [3, 6, 13, 16]. На стадии численного моделирования в качестве входного параметра использовали обобщенный показатель, характеризующий запасы напочвенного покрова в различных древостоях.

Расчеты количества сгоревшей фитомассы и оценки прямых эмиссий углерода выполняли по методике [20], учитывая массу растительных горючих материалов, сгоревших при пожаре (кг), площади, пройденные огнем ($м^2$), коэффициент полноты сгорания, допожарный запас растительных горючих материалов ($кг/м^2$), коэффициент, определяющий долю углерода в сгорающей биомассе (г/кг).

Предварительную классификацию площадей пожаров по интенсивности горения выполняли на основе анализа теплоизлучения (FRP). Пороговые значения, разделяющие категории интенсивности, определяли исходя из статистических параметров распределения радиационной мощности, рассчитанных по всем пожарным пикселям [8, 9]. Квантили интенсивности были заданы с учетом стандартного отклонения (σ) от среднего ($FRP_{ср}$) [10]. Впервые для пожаров территории Сибири

инструментально классифицированы участки низко-, средне- и высокоинтенсивного горения по преобладающим древостоям. В среднем площади пожаров низкой интенсивности в Сибири составляют 42–47 % в год, пожары средней интенсивности зафиксированы на площадях 41–46 %, доля высокоинтенсивных пожаров – 10–13 % общей площади. Дисперсия значений (σ) составляла 6–15 %. Далее были получены усредненные оценки пожарных эмиссий для двух описанных ранее [7] вероятных сценариев пожароопасного сезона на территории Сибири – условно «стандартного» и экстремального (табл. 1).

Таблица 1. Оценки прямых пожарных эмиссий по преобладающим древостоям

Преобладающие древостои	Площадь пожаров, млн га/год	Нижняя оценка		Верхняя оценка		% от суммарной эмиссии (min–max)
		Тг С/год	т С/га	Тг С/год	т С/га	
Лиственничники	2,765	42,9	15,5	52,0	18,8	51,6–62,4
Сосняки	0,656	11,0	16,7	11,8	18,0	13,2–14,2
Темнохвойные	0,153	1,9	20,4	3,1	20,4	2,3–3,7
Лиственные/ смешанные	0,275	3,8	13,7	4,7	17,24	4,5–5,7

Оценка количества сгоревших растительных горючих материалов выполнялась для каждого участка с известной интенсивностью горения с учетом переменных коэффициентов полноты сгорания [4, 13]. Дифференциальный учет площадей, пройденных пожарами переменной интенсивности, позволил получить уточненные оценки прямых эмиссий пожаров. Рассчитанные значения прямых эмиссий 83±21 Тг С/год в среднем на 17 % ниже, чем результат (112±25 Тг С/год) «стандартных» методик расчета [10]. Многолетние данные эмиссий от пожаров Сибири варьировали от минимальных значений 20–40 Тг С/год (2004, 2005, 2007, 2009, 2010) до 227 Тг С/год в 2012 г. Это значительно ниже приводимых экстремальных оценок для пожаров как Сибири (>500 Тг С/год), так и Канады (>300 Тг С/год) [6, 21].

В динамике прямых эмиссий наблюдается значимый тренд (R^2=0,56, p<0,05), соответствующий установленному ранее [12, 19] возрастанию площади лесных пожаров в Сибири. В условиях устойчивого положительного тренда роста летних температур воздуха следует ожидать связи пожарных эмиссий с указанными аномалиями. По нашим оценкам, в зависимости от реализуемого климатического сценария (RCP2.6, RCP4.0, RCP8.5) [17] пожарные эмиссии в Сибири в конце XXI в. могут достигнуть от 220 до 700 Тг С/год, а при «жестком» сценарии – 2300 Тг С/год [10].

Совокупность предложенных методов реализует полный цикл обработки данных спутникового мониторинга для прогнозирования прямых эмиссий с учетом динамики развития пожара в режиме, приближенном к реальному времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А.* Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. 2. С. 83–94.
2. *Бондур В.Г., Гордо К.А., Кладов В.Л.* Пространственно-временные распределения площадей природных пожаров и эмиссии углеродосодержащих газов и аэрозолей на территории Северной Евразии по данным космического мониторинга // Исслед. Земли из косм. 2016. 6. С. 3–20. DOI: 10.7868/S0205961416060105.
3. *Волокитина А.В.* Классификация и картографирование растительных горючих материалов /

А.В. Волокитина, М.А. Софронов. Новосибирск: СО РАН, 2002. 306 с.
4. *Глаголев М.В., Сабреков А.Ф.* Ответ А.В. Смагину: II. Углеродный баланс России // ДОСиГИК. 2014. 5, 2 (10). С. 50–69.
5. *Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н.* Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16–28.
6. *Иванова Г.А., Иванов В.А., Кукавская Е.А., Конард С.Г., Макрей Д.Д.* Влияние пожаров на эмиссии углерода в сосновых лесах Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 2007. Т. 14, 6. С. 885–895.
7. *Пономарев Е.И., Скоробогатова А.С., Пономарева Т.В.* Горимость лесов Сибири и межсезонные вариации уровня тепло- и влагообеспеченности // Метеор. и гидр. 2018. 7. С. 45–55.
8. *Пономарев Е.И., Швецов Е.Г., Литвинцев К.Ю.* Калибровка оценок пожарных эмиссий на основе данных дистанционного зондирования // Иссл. Земли из косм. 2018. 5. С. 41–51. DOI: 10.31857/S020596140003239-3.
9. *Пономарев Е.И., Швецов Е.Г., Усатая Ю.О.* Регистрация энергетических характеристик пожаров в лесах Сибири дистанционными средствами // Исслед. Земли из космоса. 2017. 4. С. 3–11. DOI: 10.7868/S0205961417040017.
10. *Пономарев Е.И., Швецов Е.Г., Харук В.И.* Интенсивность горения в оценке эмиссий от пожаров // Экология. 2018. 6. С. 1–8. DOI: 10.1134/S0367059718060094.
11. *Смирнов Н.С., Коротков В.Н., Романовская А.А.* Выбросы черного углерода от природных пожаров на землях лесного фонда Российской Федерации в 2007–2012 гг. // Метеорология и гидрология. 2015. 7. С. 5–17.
12. *Харук В.И., Пономарев Е.И.* Пространственно-временная горимость лиственничников Центральной Сибири // Экология. 2017. 6. С. 413–419. DOI: 10.7868/S0367059717060026.
13. *Цветков П.А.* Адаптация лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 2005. 1. С. 117–129.
14. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Ваганов Е.А. и др.* Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // Докл. РАН. 2011. 441. 4. С. 544–548.
15. *Conard S.G., Sukhinin A.I., Stocks B.J., Cahoon D.R., Davidenko E.P., Ivanova G.A.* Determining effects of area burned and fire severity on carbon cycling and emissions in Siberia // Clim. Change. 2002. V. 55. 1–2. P. 197–211.
16. *de Groot W.J., Cantin A.S., Flannigan M.D., Soja A.J., Gowman L.M., Newbery A.* A comparison of Canadian and Russian boreal forest fire regimes // For. Ecol. and Manag. 2013. V. 294. P. 23–34. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.07.033.
17. *IPCC, 2014:* Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summaries, Frequently Asked Questions, and Cross-Chapter Boxes. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. Field C.B., Barros V., Dokken D.J. et al. World Meteorological Organization. Geneva, 2014. 190 p.
18. *Kumar S.S., Roy D.P., Boschetti L., Kremens R.* Exploiting the power law distribution properties of satellite fire radiative power retrievals: a method to estimate fire radiative energy and biomass burned from sparse satellite observations // J. Geophys. Res. 2011. 116. P. 1–18.
19. *Ponomarev E.I., Kharuk V.I., Ranson K.J.* Wildfires dynamics in Siberian larch forests // Forests. 2016. Vol. 7, 6. P. 1–9. DOI: 10.3390/f7060125.
20. *Seiler W., Crutzen P.J.* Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and atmosphere from biomass burning // Clim. Change. 1980. 2. P. 207–247.
21. *Soja A.J., Cofer W.R., Shugart H.H., Sukhinin A.I., Stackhouse Jr. P.W., McRae D.J., and Conard S.G.* Estimating fire emissions and disparities in boreal Siberia (1998–2002) // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. DOI: 10.1029/2004JD004570.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена по теме базового проекта № 0356-2019-0009 и при частичной поддержке РФФИ, правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки № 17-41-240475, № 18-05-00432.

УДК 631.42

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ГРАДИЕНТЫ В ТЕХНОГЕННЫХ ПОЧВАХ НА ОТВАЛАХ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД

Т.В. ПОНОМАРЕВА[1, 2], А.А. БИКМУРЗИНА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (ponomareva.tv@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (bikmurzina.ana@yandex.ru)

В статье приводятся результаты исследования тепловых свойств техногенных почв на отвалах вскрышных пород Бородинского буроугольного разреза. Определены градиенты температур почв на отвалах разного возраста и с разным типом рекультивации (с нанесением ПСП и без нанесения).

TEMPERATURE GRADIENTS IN TECHNOGENIC SOILS AT OVERBURDEN DUMPS

T.V. PONOMAREVA[1, 2], A.A. BIKMURZINA[2]

[1] Institute of Forest V.N. Sukachev SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (ponomareva.tv@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (bikmurzina.ana@yandex.ru)

As the title implies the article describes the results of studies of the thermal properties of technogenic soils on the dumps of overburden of the Borodino brown coal mine. The gradients of the temperature regime of the soils on the dumps of different ages and different types of recultivation (with the application of the fertile soil layer and without its application) are determined.

Разработка угольных месторождений в Красноярском крае способствует возникновению техногенных ландшафтов в результате разработки карьеров и формирования отвалов, занимающих обширные площади. Проблема рекультивации промышленных отвалов приобретает важное народно-хозяйственное и социальное значение. При разработке плана рекультивационных работ необходимо учитывать специфику почвообразовательных процессов на отвальных породах для ускорения образования почвенного покрова. В связи с этим исследование закономерностей формирования и функционирования почв в условиях техногенных ландшафтов приобретает большую значимость и актуальность.

Исследование почв на отвалах проводится на экспериментальном полигоне Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, заложенном на территории Бородинского буроугольного разреза в Красноярском крае. Это один из крупнейших угольных разрезов в восточной части Канско-Ачинского угольного бассейна. Более 80 % площади породных отвалов угольного разреза рекультивирована, из них 45 % приходится на отвалы, восстановленные с нанесением плодородного слоя почвы (ПСП) и оставленные под самозарастание. Примерно 37 % составляют спланированные отвалы без нанесения ПСП, большая часть которых покрыта лесными насаждениями естественного или искусственного происхождения [1].

Различия в технологии отсыпки отвалов и дальнейшей их рекультивации обусловливают наличие особенностей формирования и функционирования почв. Важной характеристикой современного функционирования почв и энергетики почвообразовательных процессов является температурный режим почвы. Величиной, характеризующей изменение температуры с глубиной, служит вертикальный температурный градиент, показывающий изменение температуры почвы на единицу глубины.

В результате проведенных исследований определены градиенты температур и выявлены особенности температурного режима почв на четырех пробных площадях (ПП 1–4), характеризующих варианты отвалов разного возраста и с разным типом рекультивации (с нанесением ПСП и без нанесения). На каждой пробной площади

закладывалось по три почвенных разреза с описанием их морфологического строения, проводилась радиометрическая съемка в тепловом диапазоне вертикальной стенки почвенного профиля по авторской методике [3, 4]. Определение основных свойств почвы проводилось по общепринятым методикам. Отбор образцов почв для камеральной обработки осуществлялся для вариантов отвалов с ПСП в верхнем 0–5 см слое и в слое 30–40 см, лежащем ниже границы ПСП; для вариантов отвалов без ПСП соответственно в слое 0–5 см и в слое 20–30 см. На основе анализа морфологии почвенного профиля и физико-химических свойств определялась классификационная принадлежность почв. Расчет температурных градиентов выполнен по результатам радиометрической съемки [5].

ПП1 представляет вариант рекультивированного с нанесением ПСП 9-летнего отвала. В настоящий момент сформировано крупнотравное сообщество с рудеральной растительностью.

ПП2 характеризует вариант восстановления растительности на выровненном отвале вскрышных пород 30-летней давности с нанесением ПСП. На рекультивированной поверхности сформировался луг бобово-злаковый.

ПП3 расположена на спланированном отвале без нанесения ПСП. На отвале в 2005 г. высажены 2–3-летние саженцы сосны.

ПП4 расположена на выровненном средневозрастном 30-летнем отвале без ПСП. Тип леса осинник разнотравный, естественного происхождения, условно одновозрастный, сомкнутость высокая.

Техногенно-почвенные образования на ПП1 и ПП2 относятся к реплантоземам, на ПП3 и ПП4 – к литостратам. В профиле реплантоземов хорошо различимы два слоя: вскрышные породы и нанесенный сверху ПСП, мощность которого на изучаемых участках значительно варьирует, в среднем составляя 30 см. На отвалах 30-летнего возраста ПП2 на поверхности образовался фрагментарный органогенный слой; также в верхней части ПСП в результате деятельности корней травянистых растений сформировался дерновый горизонт (5–10 см), характеризующийся меньшей плотностью сложения. Морфология литостратов зависит от биологического возраста отвала, состава слагающих пород и уклона поверхности. На начальной стадии формирования профиль литостратов не дифференцирован на горизонты. На современном этапе развития фитоценоза и накопления органического вещества на поверхности ТПО на ПП4 сформировались маломощный (2–3 см) органогенный горизонт и гумусовый горизонт мощностью до 12 см. Характеристики почв приведены ниже (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики свойств техногенных почв на отвалах вскрышных пород

№ ПП	Глубина, см	Гумус, %	Плотность сложения, г/см^3	Влажность, %	Крупнозем, %	Гранулометрический состав мелкозема	Температурный градиент, ℃/см
1	0–5	6–8	1,0–1,2	25–40	<5	тяжелосуглинистый	0,5–0,7
	30–40	1–2	1,3–1,5	20–30	10–20	среднесуглинистый	0,3–0,4
2	0–5	5–8	1,2–1,3	25–35	<5	тяжелосуглинистый	1,5–1,7
	30–40	1–2	1,3–1,4	20–25	10–20	среднесуглинистый	0,3–0,4
3	0–5	2–4	0,8–1,0	12–15	20–30	среднесуглинистый	0,3–0,5
	20–30	1–2	0,9–1,0	18–20	30–60	среднесуглинистый	0,1–0,2
4	0–5	10–14	0,65–0,8	35–45	15–20	среднесуглинистый	1,5–2
	20–30	1–2	1,0–1,1	20–22	25–60	среднесуглинистый	0,1–0,3

Радиометрическая съемка профилей проводилась при приблизительно равных температурах воздуха, разница составляла не более 3 °С. В течение измерений осадков не выпадало.

По результатам проведенных исследований техногенных почвенных образований (ТПО) на отвалах вскрышных пород Бородинского угольного разреза установлено, что физические свойства почв на отвалах разного возраста и типа рекультивации значительно отличаются, что обусловливает и разницу тепловых свойств почв.

На отвалах без ПСП в профиле литостратов на формирование теплового поля оказывает влияние крупнообломочный материал, входящий в состав вскрышных пород. При условии равенства влажности, плотности и других характеристик почв повышенное содержание грубых частиц (песчаных, щебнистых) приводит к более высокой теплопроводности. Включения угля имеют меньшую теплопроводность. Конфигурации изотермических полей в профилях с высоким содержанием крупнозема сложные. Температурные градиенты на молодых отвалах слабо изменяются с глубиной, отличие значений этого показателя в верхних 5 см почвы не более чем в 2 раза превышает значения в нижележащих слоях. Наблюдаются значительные различия тепловых свойств профилей молодых и старых отвалов. Температурные градиенты в верхнем 5 см слое на старом отвале в 3–5 раз выше, чем на молодом. В средней и нижней части профиля на старом отвале на ПП4 сохраняются те же значения градиентов, что и на молодом отвале, а в верхнем 3–5 см слое почв отмечается рост этого показателя в 15 раз, что обусловлено активным перераспределением гранулометрических фракций почвы, изменением плотности в результате деятельности корней древесных растений. В трещинах, в том числе образующихся вокруг корней, увеличивается роль термодиффузного переноса, образуются области повышенной температуры. Кроме того, аккумуляция органического вещества на поверхности литостратов приводит к увеличению влажности и, как следствие, к увеличению объемной теплоемкости почв, которая пропорциональна температурному градиенту.

На отвалах с ПСП разного возраста температурные градиенты отличаются меньше. Значительных изменений в тепловых свойствах реплантоземов не происходит в силу ряда причин. Исходный ПСП характеризуется высоким содержанием гумуса, достаточно однородным гранулометрическим составом, высокой плотностью, и в процессе почвообразования эти показатели слабо изменяются. В слое 0–5 см наблюдается увеличение градиента на старых отвалах относительно молодых не более чем в 2–3 раза. В средней и нижней части профиля градиенты остаются на одном уровне.

Таким образом, выявлено, что тепловые свойства техногенных почв на отвалах вскрышных пород Бородинского буроугольного разреза, в частности, температурные градиенты, в ходе развития фитоценоза в большей степени изменяются на отвалах без ПСП. Увеличение температурных градиентов приводит к увеличению влаго- и массопереноса [2], т. е. к интенсификации процесса почвообразования на границе органогенного и минерального горизонтов. Влага и растворенные в ней органические вещества перемещаются по направлению к более холодным областям, таким образом увеличивая мощность гумусового горизонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богородская А.В., Трефилова О.В., Шишикин А.С.* Процессы первичного почвообразования в техногенных экосистемах на отвалах Бородинского буроугольного месторождения (восточная часть КАТЭК) // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 382. С. 214–220.

2. *Макарычев С.В., Зайкова Н.И.* Теплофизические свойства и режимы чернозема выщелоченного под столовой свеклой в орошаемых условиях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 10 (120). 2014. С. 36–42.
3. Патент № 2660224 «Способ выявления и картирования структуры почвенного профиля методом съемки в инфракрасном диапазоне спектра».
4. *Пономарева Т.В., Пономарев Е.И.* Технология выделения горизонтов почвенного профиля по данным съемки в инфракрасном диапазоне // Хвойные бореальной зоны. 2013. № 5–6. С. 29–35.
5. *Пономарева Т.В., Пономарев Е.И.* Радиометрическая съемка почвенного профиля в инфракрасном диапазоне // Почвоведение. 2016. № 2. С. 219–226.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №17-04-00589а), по теме базового проекта № 0356-2019-0027.

УДК 581.526.426.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИГОДОВОЙ КЛЕТОЧНОЙ АНАТОМИИ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ СИБИРИ

М.И. ПОПКОВА, И.И. ТЫЧКОВ, В.В. ШИШОВ

Сибирский федеральный университет, Красноярск (popkova.marg@gmail.com, ivan.tychkov@gmail.com, vlad.shishov@gmail.com)

На основе древесно-кольцевых хронологий и данных по сезонному росту для исследуемых видов, произрастающих в контрастных условиях Южной и Центральной Сибири, была проведена калибровка и верификация параметров модели Ваганова – Шашкина. Смоделированные ежедневные интегральные скорости роста были использованы в разработанной процедуре временной привязки клеток в камбиальной зоне. Получившиеся модельные результаты были сопоставлены с прямыми наблюдениями по сезонной продукции клеток Южной Сибири.

MODELING INTRA-ANNUAL CELL ANATOMY OF CONIFERS IN SIBERIA

M.I. POPKOVA, I.I. TYCHKOV, V.V. SHISHOV

Siberian Federal University, Krasnoyarsk (popkova.marg@gmail.com, ivan.tychkov@gmail.com, vlad.shishov@gmail.com)

Based on tree-ring chronologies and seasonal growth data for the studied species growing in the contrasting conditions of Southern and Central Siberia, calibration and verification of the Vaganov – Shashkin model were carried out. The obtained daily integral growth rates were used as input data in a new timing procedure of cells in the cambial zone. The model results were compared with direct observations on seasonal production in Southern Siberia.

Оценка времени сезонной продукции клеток в годичных кольцах является фундаментальным аспектом в понимании функционирования древесных растений. Из-за специфики и трудоемкости лабораторных методов измерения анатомии годичных колец математическое моделирование можно рассматривать как один из возможных подходов к изучению фенологии растений. Такой подход требует разработки адекватных математических методов и соответствующих программных компонентов.

В настоящее время использование имитационного моделирования является одним из самых перспективных направлений в современной дендроэкологии. Существует несколько процессных моделей для оценки годового прироста биомассы дерева, которые являются полезным инструментом для изучения влияния внутрисезонных климатических событий на рост дерева. Было доказано, что модель Ваганова – Шашкина обеспечивает надежные оценки роста деревьев в различных климатических условиях. Основной принцип работы VS-модели заключается в оценке ежедневного прироста на основе суточных климатических данных (температуры и осадков), которые трансформируются в частные скорости роста в зависимости от температуры и влажности почвы [1, 4, 5, 8, 9, 12]. Температура воздуха, содержание влаги в почве и освещенность оказывают основное влияние на скорость роста клеток в камбиальной зоне. Стоит отметить, что в данном случае моделируются только климатически обусловленные изменения прироста и структуры годичных колец. С помощью модели оценивается ежедневная скорость роста деревьев, а затем проводится калибровка для максимизации корреляции Пирсона и коэффициента синхронности между реальной и смоделированной хронологиями.

Первый участок расположен в Алтае-Саянском регионе (53°43′ с. ш., 91°50′ в. д., 325 м н. у. м.) в умеренной климатической зоне с полузасушливым холодным климатом. Для исследования использовались древесно-кольцевая хронология *Pinus sylvestris* и ежедневные климатические данные со станции Минусинск. Рост, согласно

результатам моделирования, лимитируется влажностью почвы на протяжении всего сезона. Второй участок расположен в Центральной Сибири (64°17′ с. ш., 100°13′ в. д., 610 м н. у. м.). Климат здесь континентальный с холодным и коротким летом и длинной зимой. Для исследования была построена хронология *Picea obovata*, климатические данные – со станции Тура. Рост лимитируется температурой. Южный участок согласно результатам моделирования лимитировался влажностью, а северный – температурами. Параметризация модели на реальных древесно-кольцевых хронологиях была произведена с применением автоматического способа подбора оптимальных параметров VS-модели на базе нейросетевых алгоритмов (Global Growth Evolution Tree Ring Neural Network). Было показано, что полученные и скорректированные в процессе моделирования значения параметров различались не только из-за локальных условий окружающей среды, но и по причине уникальной фенологии анализируемых пород деревьев.

Полученные для южного участка скорости использовались для моделирования внутригодовой клеточной анатомии – тем самым был представлен новый инструмент для связи окружающей среды со структурой и функционированием древесины. В частности, было подтверждено, что VS-модель обеспечивает реалистичные период и скорости роста деревьев *Pinus sylvestris*, растущих в чувствительном к засухе районе Южной Сибири [10].

Связь между внешними условиями и анатомической структурой колец, выявленная путем сопоставления трахеидограмм с полученными в результате VS-моделирования скоростями роста, открывает новые возможности для анализа реакций древесины на изменения климата. В частности, сила связи между моделируемыми скоростями роста и измеренными радиальными размерами трахеид ($R>0,70$) подтверждает предположение, что радиальный размер трахеид заранее определен на ранней стадии дифференцировки клеток и, следовательно, может быть связан со скоростью образования камбиальных клеток [11]. Для оценки динамики изменения радиальных размеров трахеид для всех годичных колец на основе общепринятых в дендрохронологии методов были построены трахеидограммы [3] по пяти деревьям, лучше всего коррелирующим с исходной хронологией ($R>0,70$). Измерения клеток были выполнены по фотографиям поперечных срезов, окрашенных сафранином (толщиной 15–20 мкм) и сделанных на санном микротоме (Райхерт, Германия) для последних пятидесяти колец (1964–2013). Изображения были получены на увеличении 400x цифровой камерой (5 мегапикселей), подключенной к микроскопу (Axio Imager, Carl Zeiss, Германия). Радиальный диаметр трахеид (TD) оценивали путем измерения радиального диаметра люмена (LD) и двойной клеточной стенки (2CWT) вдоль пяти радиальных рядов в каждом кольце [7, 11]. Все измеренные файлы были стандартизированы, то есть скорректированы на ежегодное среднее число клеток для всех деревьев [2].

В разработанном автоматическом алгоритме оценки времени продукции клеток (timing) используются интегральные скорости роста Gr, полученные в результате VS-моделирования для каждого дня сезона роста (день в году, Day of Year). Поскольку суммарная интегральная скорость за сезон пропорциональна ширине годичного кольца дерева, мы сопоставили соответствующую часть Gr с каждой зрелой трахеидой, учитывая ее положение в радиальном файле. Отношение суммарной годовой интегральной скорости Gr к числу сформированных за сезон клеток является оценкой средней скорости продукции клетки в кольце. Время продукции рассчитывалось с учетом дробных суток при достижении значения средней скорости продукции за сезон. В результате разработанного алгоритма для каждой клетки в годичных кольцах определен момент производства [6]. С использованием приемов визуализации данных

полученные значения соотносятся со скоростями роста в едином временном масштабе. Корреляции между наблюдаемыми камбиальными клетками и клетками в зоне растяжения с моделируемой скоростью роста камбиального деления составили R=0,93 и R=0,84 соответственно. Эта сильная связь в дальнейшем использовалась, чтобы назначить время каждой делящейся камбиальной клетке, а также соответствующую среднюю скорость роста клетки. Для этих целей был разработан соответствующий код на языке программирования R. Основным преимуществом нового подхода является способность оценивать ежедневную скорость роста и время образования клеток на основе прямых климатических наблюдений в течение периода любой длительности без трудоемких полевых измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ваганов Е.А., Шашкин А.В.* Рост и структура годичных колец. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
2. *Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свидерская И.В., Высоцкая Л.Г.* Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск: Наука, 1985. 108 с.
3. *Ваганов Е.А., Свидерская И.В., Кондратьева Е.Н.* Погодные условия и структура годичного кольца деревьев: имитационная модель трахеидограммы // Лесоведение. 1990. 2: 37-45.
4. *Evans M.N., Reichert K., Kaplan et al.* A forward modeling approach to paleoclimatic interpretationof tree-ring data // J. Geophys. Res. 2006. 111. G03008.
5. *He M., Yang B., Shishov V. et al.* Relationships between wood formation and cambium phenology on the Tibetan Plateau during 1960–2014 // Forests. 2018. 9: 86.
6. *Popkova M.I., Vaganov E.A., Shishov V.V. et al.* Modeled tracheidograms disclose drought influence on *Pinus sylvestris* tree-rings structure from Siberian forest-steppe // Frontiers of Plant Science. 2018. 9.
7. *Seo J.W., Smiljanic M. and Wilmking M.* Optimizing cell-anatomical chronologies of Scots pine by stepwise increasing the number of radial tracheid rows included-Case study based on three Scandinavian sites // Dendrochronologia. 2014. 32. 205–209.
8. *Shishov V.V., Tychkov I.I., Popkova M.I.* et al. VS-oscilloscope: A new tool to parameterize tree radial growth based on climate conditions // Dendrochronologia. 2016. 39: 42–50.
9. *Touchan R., Shishov V.V., Meko D.M. et al.* Process basedmodel sheds light on climate signal of Mediterranean tree-ring width // Biogeosceinces. 2012. 9. 965–972,
10. *Tychkov I., Sviderskaya I., Babushkina E.* et al. How can the parameterization of a process-based model help us understand real tree-ring growth? // Trees. 2019. 33 (2): 345–357.
11. *Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V.* Growth Dynamics of Conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments. Springer, Berlin – Heidelberg, 2006. 358 pp.
12. *Yang B., He M., Shishov V. et al.* New perspective on spring vegetation phenology and global climate change based on Tibetan Plateau tree-ring data // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2017. 114: 6966–6971.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 18-14-00072, подготовка и анализ дендрохронологических материалов) и в рамках государственного задания «Наука будущего» (проект 5.3508.2017/4.6, моделирование).

УДК 574.38 : 630*181

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИСХОЖДЕНИЙ ЕЛИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ

Н.А. ПРОЖЕРИНА[1], Е.Н. НАКВАСИНА[2], Н.А. ДЕМИНА[3]

[1] Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, Россия (pronad1@yandex.ru)
[2] Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия (nakvasina@yandex.ru)
[3] Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Архангельск, Россия (nadya2100@mail.ru)

С использованием метода Эберхарта и Рассела изучена фенотипическая изменчивость в контексте реакции «генотип – среда» на примере 22 климатипов ели, произрастающих в коллекции географических культур, созданных в трех пунктах Европейского Севера России. Большей экологической пластичностью (приспособляемостью), в том числе к происходящим климатическим изменениям, обладает *Picea abies* (L.) Karst.

ECOLOGICAL PLASTICITY OF DIFFERENT SPRUCE ORIGINS IN THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

N.A. PROZHERINA[1], E.N. NAKVASINA[2], N.A. DEMINA[3]

[1] N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Russia (pronad1@yandex.ru)
[2] Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia (nakvasina@yandex.ru)
[3] Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk, Russia (nadya2100@mail.ru)

Phenotypic variability of 22 spruce provenances was studied by the method of Eberhart and Russell in the context of the «genotype – environment» interaction in the three locations of provenance tests in the European North of Russia. Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) has greater ecological plasticity (adaptability) as well to the ongoing climate change.

Под фенотипической пластичностью, в основе которой лежат гомеостатические реакции, понимают способность организма изменять свой фенотип в ответ на изменение окружающих условий без изменения в генотипе [3]. Фенотипическая пластичность отражает взаимоотношение «генотип – среда» и способствует сохранению популяций больших размеров [4], таких как ель. Изучить фенотипическую пластичность и решить вопрос о взаимодействии «генотип – среда», который является одним из важнейших в селекции происхождений и служит основой для регламентации переброс семян основных лесообразующих пород для лесовосстановления [6], позволяют географические культуры, созданные на территории Советского Союза в 1970-х годах. История расселения породы может внести неожиданные популяционные дифференциации в росте и устойчивости потомства [5], особенно при испытании в условиях с различной напряженностью экологического фона среды. Изучение характеристик породы в климатически крайних участках ее ареала, в том числе за пределами ареала породы, позволяет обнаружить лимиты ее адаптации и установить отклик реакции на изменение условий произрастания.

Цель наших исследований: оценить адаптационную изменчивость и фенотипическую пластичность в системе «генотип – среда» потомств ели обыкновенной, произрастающих на Русской равнине, при выращивании в экстремальных условиях севера на границе ареала породы; выяснить влияние на проявление хозяйственных признаков и на фенотипическую изменчивость условий произрастания, условий происхождения, вида и формы ели; дать прогноз относительно

реакции видов ели и близких к ним интрогрессивных форм на климатические изменения.

Для исследования взаимоотношения «генотип – среда» были отобраны 22 климатипа ели, произрастающие в географических культурах Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми. Климатипы ели представлены двумя видами: ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst.) и ель сибирская (*P. obovata* (Ledeb.), а также двумя интрогрессивными гибридными формами, выделенными по форме края семенных чешуй зрелых макростробилов [1].

Оценку реакции климатипов на условия выращивания и изучение фенотипической пластичности проводили по трем показателям: сохранность, высота и диаметр (использовали средний прирост). Фенотипическую пластичность оценивали по методу S. Eberhart, W. Rassel [2], который применяется в системных опытах, когда одни и те же потомства (не менее трех) культивируются в различных экологических условиях. По показателю линейной регрессии испытываемые потомства разделили на две группы: группа 1 – ($b_i > 1$) – пластичные популяции; группа 2 – ($b_i < 1$) – непластичные популяции. Происхождения, относящиеся к группе 1 и к группе 2 по росту и сохранности, встречаются среди *P. obovata, P. abies* и их гибридных форм. Распределение происхождений по группам пластичности по отдельным показателям не совпадает. Сходство группового распределения наиболее тесное по двум биометрическим показателям (диаметр и высота), коэффициент корреляции составляет 0,726 (достоверен при уровне P=0,05).

Как показали испытания 22 происхождений ели в достаточно экстремальных условиях таежной зоны России, история послеледникового расселения породы на территории Русской равнины, произрастание двух видов *P. abies* и *P. obovata* и их гибридных форм в зоне интрогрессивной гибридизации влияют на производственные характеристики и приспособляемость популяций, отличающихся географическим происхождением (рис. 1).

В пределах ареалов *P. abies* и *P. obovata* на территории Русской равнины выделены две генетически обособленные субпопуляции ели, отличающиеся лучшими характеристиками по выживаемости и росту. Они определяют принципы практического использования интродуцированных семян в регионе. Именно здесь необходимо создавать генетические резерваты. В пределах ареала *P. obovata* при лесовосстановлении предпочтение следует отдавать семенам местного вида и близких к нему гибридных форм. Семена *P. abies* и гибридных форм обоих видов можно применять на остальной территории Русской равнины (ареал *P. abies* и зона интрогрессии двух видов), сохраняя принцип сходства климатических характеристик пункта заготовки семян и места их выращивания. Большей экологической пластичностью (приспособляемостью), в том числе к происходящим климатическим изменениям, обладает *P. abies.* В перспективе, при устойчивом потеплении, она может стать доминирующей на Русской равнине, начав вытеснять *P. obovata*.

Популяционная изменчивость по выживаемости, росту и фенотипической пластичности в пределах видов ели (*P. abies* и *P. obovata*) и их гибридных форм, распространенных на пограничной территории, вызывает необходимость дальнейшего изучения отдельных происхождений.



Рис. 1. Распределение климатипов ели (номера указаны жирным шрифтом согласно государственному реестру) по показателям фенотипической пластичности по сохранности, диаметру и высоте (цифрами в кружках указаны группы по фенопластичности: 1 – пластичные, 2 – непластичные; порядок трех цифр отражает разную фенопластичность соответственно по сохранности, диаметру и высоте)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правдин Л.Ф.* Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 178 с.
2. *Eberhart S., Rassel W.* Stability parameters for comparing varieties // Crop. Sci. 1966. 6(1): 36–42.
3. *Gienapp P., Teplitsky C., Alho J.S., Mills J.A., Merila J.* Climate change and evolution: disentangling environmental and genetic responses // Molec. Ecol. 2008. 17: 167–178.
4. *Gomez-Mestre I., Jovani R.* A heuristic model on the role of plasticity in adaptive evolution: plasticity increases adaptation, population viability and genetic variation // Proc R. Soc. 2013. B 280: 20131869. http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.1869.
5. *Kapeller S., Lexer M.J., Geburek T., Hiebl J., Schueler S.* Intraspecific variation in climate response of Norway spruce in the eastern Alpine range: selecting appropriate provenances for future climate // For. Ecol. Manag. 2012. 271: 46–57.
6. *Schultze U.* Klimaänderung–neue Kriterien fur Herkunftsempfehlungen // Symp. «Klimaänderung Osterreich: Herausforderungen Forstgenetik und Waldbau», Wien, Nov. 9, 1994. Pp. 37–47.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы благодарят Северный НИИ лесного хозяйства, Н.В. Улиссову и Д.Х. Файзулина за предоставленные полевые материалы по обследованию географических культур. Исследования Н.А. Прожериной выполнены при финансовой поддержке ФАНО в рамках темы № 0409-2015-0141.

УДК 550.47:574.42:574.42

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАСТВОРЕННОГО ТЕРРИГЕННОГО УГЛЕРОДА В ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ (КОНТИНУУМ ПОЧВЕННЫЙ РАСТВОР – КОНЕЧНЫЙ ВОДОЕМ СТОКА)

А.С. ПРОКУШКИН[1], И.В. ТОКАРЕВА[1], А.В. ПАНОВ[1], Р.А. КОЛОСОВ[1], М.А. КОРЕЦ[1], И.А. СОЛНЫШКИН[1], Р. ЭЙМОН[2], Я. КАРЛССОН[3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (prokushkin@ksc.krasn.ru)
[2] Department of Marine Sciences and Oceanography, Texas A&M University, USA
[3] Climate Impacts Research Centre (CIRC), Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University, Sweden

В работе представлено обобщение результатов исследований формирования латеральных потоков углерода и эмиссий CO_2 с поверхности водотоков на примере бассейнов Среднесибирского плоскогорья и в процессе его дальнейшей миграции из р. Енисей в Карское море.

TRANSFORMATION OF DISSOLVED TERRIGENOUS CARBON IN A RIVERINE SYSTEM (SOIL SOLUTION - ESTUARY CONTINUUM)

A.S. PROKUSHKIN[1], I.V. TOKAREVA[1], A.V. PANOV[1], R.A. KOLOSOV[1], M.A. KORETS[1], I.A. SOLNYSHKIN[1], R. AMON[2], J. KARLSSON[3]

[1] Sukachev Institute of forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
[2] Department of Marine Sciences and Oceanography, Texas A&M University, USA
[3] Climate Impacts Research Centre (CIRC), Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University, Sweden

In the presented work we summarized the results of studies on the formation of lateral and exchange fluxes of terrigenic carbon in riverine system of the Central Siberian Plateau and its further transport and evolution within the Yenisei River on the path to the Kara Sea.

В почвах бассейнов крупнейших рек Арктики сосредоточено свыше 1600 Пг органического углерода, значительная доля которого приходится на криолитозону [1]. Изменение скоростей минерализации этого пула ввиду повышения температуры может оказать существенное влияние на содержание парниковых газов в атмосфере и латеральные потоки углерода в гидросферу. Как следствие, количественная оценка экспорта углерода из наземных ландшафтов с речным стоком, характеристики его молекулярного и изотопного состава, возраста, сопряженность с выносом других элементов и особенно эмиссионные потоки парниковых газов с поверхности водотоков остаются актуальными вопросами в современных исследованиях биогеохимии бассейна СЛО. Решение подобной задачи требует комплексного междисциплинарного подхода, сочетающего в себе гидрологические, гидрохимические и экофизиологические исследования, основанные на стационарных и маршрутных исследованиях.

Ключевыми задачами настоящей работы являлись (а) анализ изменений количественных и качественных характеристик растворенных форм углерода от источников его формирования к конечному водоему стока и (б) оценка минерализации терригенного органического вещества в водотоках, эмиссионных потоков парниковых газов с их поверхности. Проведен анализ данных многолетних наблюдений для водотоков разного порядка в пределах Среднесибирского плоскогорья и замыкающего створа р. Енисей в г. Игарка (рис. 1).

Потоки углерода в наземных экосистемах. Средневзвешенные по объему концентрации растворенного органического углерода (РОУ) в инфильтрационных водах лесных подстилок в весенний период составляют 47±5 мгС/л, что лишь незначительно выше значений, обнаруженных в водотоках первого порядка (≤0,5 км^2) –

30–45 мгС/л. В летний и осенний периоды концентрации РОУ варьируют в пределах 40–90 мгС/л и превышают регистрируемые в водотоках в 5–10 раз. Ароматизация (параметр SUVA), содержание стабильных изотопов, высокое содержание лигнина и молекулярная масса (параметр спектральное отношение (SR)) РОУ лизиметрических вод в течение всего сезона не претерпевают значительных изменений и характеризуют его принадлежность к продуктам разложения растительного опада. Растворенного неорганического углерода (РНУ) в перколяционных водах подстилок, как правило, не обнаруживается, что обусловлено низкими значениями pH (<5).



Рис. 1. Исследуемые водотоки Среднесибирского плоскогорья и р. Енисей

Суммарный поток РОУ из органического слоя за период снеготаяния варьирует в пределах 1,9–3,1 г С/м^2. За весь безморозный период эта величина может достигать 12 гС/м^2 в зависимости от погодных условий и локализации в ландшафте [2]. В минеральной почве концентрации РОУ снижаются до 5–10 мгС/л на глубинах 40–60 см, тогда как значения РНУ, наоборот, возрастают до 15–20 мгС/л.

Эмиссионные потоки CO_2 с поверхности напочвенного покрова с усреднением за безморозный период в 2016–2018 гг. варьировали в пределах 320–370 гС/м^2, а чистый экосистемный обмен – 108–162 гС/м^2.

Потоки углерода в водных экосистемах. Исследования основаны на стационарных и маршрутных наблюдениях водотоков разного порядка (площадь бассейнов от 0,2 до 2500000 км^2). Концентрации РОУ имеют тенденцию к снижению с увеличением площади бассейна (длины водотока) и, соответственно, времени пребывания растворов в водном объекте. Эта зависимость отмечается как в весеннее половодье, так и в летнюю межень. В период снеготаяния в водотоках концентрации РОУ первого порядка достигают более 40 мгС/л, что находится в пределах варьирования концентраций РОУ в лизиметрических водах, и снижаются до 10 мгС/л в водотоках 4–6 порядка (например, р. Енисей) (рис. 2а). Ароматизация РОУ (рис. 2в) также имеет тенденцию к снижению, однако существенно менее значимую. Обратная закономерность наблюдается для поведения концентраций РНУ (рис. 2б) и спектрального отношения (рис. 1г), что указывает на определенную роль минерализационных процессов, включая снижение молекулярной массы РОУ.

В период летней межени наблюдается более существенная трансформация терригенного РОУ в процессе его транспорта от источников к конечному водоему стока. Так, с увеличением площади бассейна наблюдается резкое снижение концентраций РОУ, степени его ароматизации и молекулярной массы и, наоборот, рост концентраций РНУ (рис. 2). Помимо этого, качественные характеристики РОУ предполагают формирование в водотоках автохтонного РОУ.

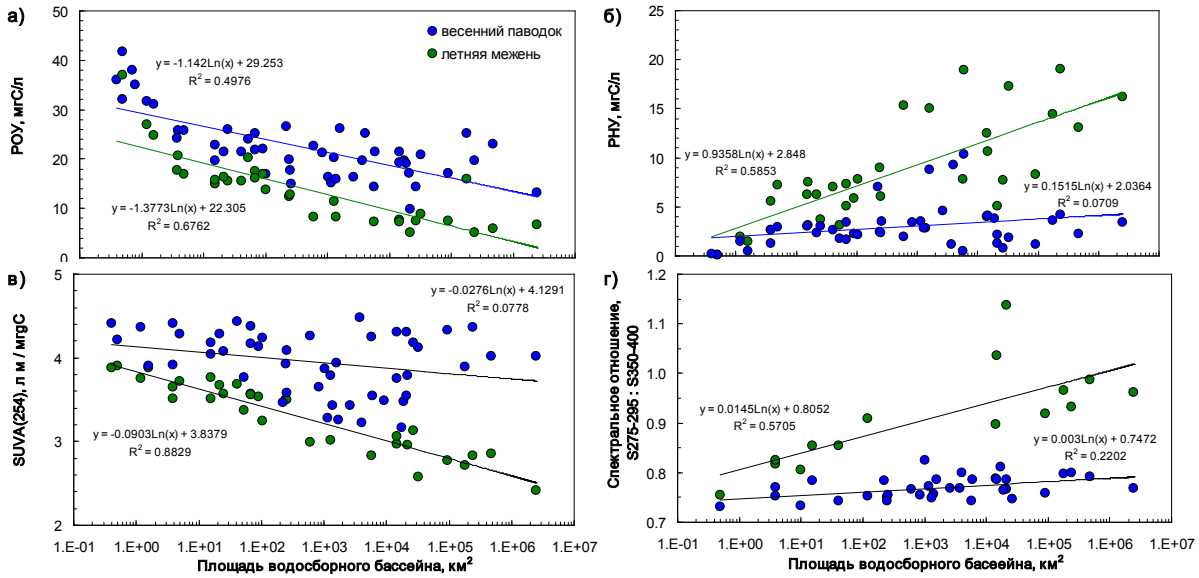


Рис. 2. Изменения количественных и качественных характеристик растворенного углерода руслового стока рек разного порядка в зависимости от площади их водосборного бассейна: концентрации РОУ (а), РНУ (б), спектральные характеристики РОУ – ароматизация (SUVA, в) и спектральное отношение (г)

В отличие от почвенного дыхания, которое имеет максимумы при наибольшем прогреве почв в июле – августе, эмиссионные потоки CO_2 с водной поверхности водотоков наблюдаются в начале и конце вегетационного сезона и коррелируют с концентрациями РОУ. Таким образом, дыхание водных систем лимитировано доступностью субстрата, тогда как для почвенной микробиоты большую роль играет гидротермический режим. Поведение концентраций растворенного диоксида углерода и его эмиссий с поверхности водного зеркала в весеннее половодье позволяет предположить дегазацию CO_2 почвенных растворов в водотоках 1–3 порядков (рис. 3а). Повышение уровней pCO_2 и эмиссионных потоков в водотоках более высокого порядка свидетельствует о минерализации терригенного РОУ. В период летней межени концентрации растворенного CO_2 характеризуются снижением с увеличением порядка водотока до уровней ниже концентрации в атмосфере (рис. 3б). При этом знак газообмена сменяется на отрицательный, т. е. наблюдается поглощение атмосферного CO_2.

Величины эмиссионных потоков CO_2 с водной поверхности за весь безморозный период варьируют в малых водотоках в пределах 140–250 гС/м^2, что почти в 2 раза ниже уровней почвенного дыхания. При существенно меньшей площади поверхности суммарные водные эмиссионные потоки в пересчете на всю площадь бассейна малого водотока оцениваются величинами 0,15–0,25 гС/м^2/год, что существенно ниже экспорта углерода в форме РОУ и РНУ (5–10 гС/м^2/год). Следует, однако, учитывать минерализационный поток на всем протяжении транспорта терригенного С до конечного водоема стока и поглощение выделяемого CO_2, что значительно увеличивает роль водных экосистем в континентальном цикле углерода.

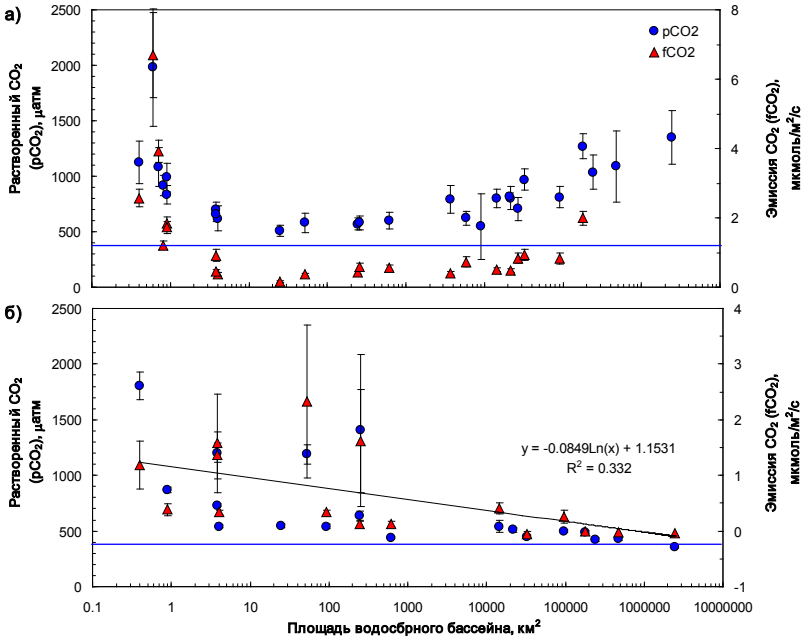


Рис. 3. Поведение концентраций растворенного диоксида углерода (pCO_2) и его эмиссий (fCO_2) с поверхности водотоков в весеннее половодье (а) и летнюю межень (б) в зависимости от площади бассейна. Синей линией обозначена концентрация CO_2 в атмосфере (данные обсерватории ZOTTO)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tarnocai C. and others.* Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // Global Biogeochemical Cycles. 2009. 23: GB 2023.
2. *Прокушкин А.С. и др.* Потоки растворенного органического вещества в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири // Экология. 2008. № 3. С. 163–172.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования проведены в рамках проекта РФФИ-Арктика № 18-05-60203.

УДК 630*182.5

СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА ЭДИФИКАТОРА

С.Г. ПРОКУШКИН, О.А. ЗЫРЯНОВА, М.А. КОРЕЦ, А.Е. ПЕТРЕНКО

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (stanislav@ksc.krasn.ru)

Рассматривается зависимость фитомассы отдельных компонентов дерева (хвои, ветвей и корней) от массы ствола для древостоев разных возрастных групп (молодняки, средневозрастные и приспевающие, спелые и перестойные). Показано снижение тесноты данной связи с возрастом.

PHYTOMASS STUCTURE OF *LARIX GMELINI* (RUPR.) RUPR. STANDS AT DIFFERENT STAGES OF EDIFICATOR'S ONTOGENESIS

S.G. PROKUSHKIN, O.A. ZYRYANOVA, M.A. KORETS, A.E. PETRENKO

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (stanislav@ksc.krasn.ru)

The dependence of the phytomass of individual components of the tree (needles, branches and roots) on the stem mass for stands of different age groups (young, middle-aged and maturing, mature and overmatured) is considered. The reduction of the strength of this relationship with age is shown.

Лиственничники криолитозоны Сибири, занимая более 1,9 млн км^2, выполняют важные экологические функции регионального и глобального масштабов: почвозащитные, водо- и климаторегулирующие, депонирующие и т. д. [1, 2]. Поэтому оценка фактических запасов фитомассы лесов высоких широт и исследование ее структуры является важным моментом для понимания потоков углерода и других биогенных элементов и их прогнозирования при глобальном потеплении.

В настоящее время накоплен огромный материал, касающийся в основном запасов фитомассы стволовой древесины [4, 5, 7, 8]. Для лиственничников криолитозоны Средней Сибири данные о запасах фитомассы древостоев и ее структуре единичны [3, 6, 9] и не могут адекватно характеризовать особенности фитомассы лесных экосистем региона в целом. Настоящим исследованием сделана попытка частично заполнить информационный «пробел».

Объектами исследований являлись чистые насаждения лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) в бассейне руч. Кулингдакан (приток р. Кочечум), Центральная Эвенкия.

Определение запасов фитомассы и ее распределение по отдельным компонентам дерева проводилось в древостоях разных возрастных групп: молодняках (до 40 лет), средневозрастных и приспевающих (50–100 лет), спелых (120–140 лет) и перестойных (>140 лет). Для учета надземной фитомассы взято 57 модельных деревьев, у которых отдельно взвешивали стволовую часть, ветви и хвою. Для определения запасов фитомассы корней были взяты 8 деревьев в молодняках и по одному дереву в старших возрастных группах. Все результаты приведены в единицах а. с. м. Из-за высокой изменчивости морфологических признаков (коэффициенты варьирования изменяются от 43 до 74 %) [3, 9] в наших исследованиях используются как абсолютные значения, так и относительные величины, т. е. процент фитомассы фракции от общей надземной фитомассы.

Выполненные исследования позволили установить некоторые особенности распределения фитомассы модельных деревьев по следующим фракциям: корни, стволовая древесина, ветви, хвоя. Выявлено, что с увеличением возраста древостоев происходит существенное увеличение доли стволовой массы в общей фитомассе дерева. Так, в молодняках стволовая фитомасса в среднем составляет 64,6±5,1 % от всей надземной массы дерева, в спелых и перестойных древостоях она достигает 85,2±1,8 и

89,4±1,4 % соответственно. Подобная тенденция отмечена и в объединенной нами средневозрастно-приспевающей возрастной группе, где с увеличением возраста древостоев (с 50 до 100 лет) также наблюдается увеличение доли стволовой древесины с 83,7±4,48 до 88,2±1,56 %. Одновременно в надземной фитомассе древостоев резко уменьшаются доли фракций ветвей и хвои: фитомасса ветвей снижена в среднем с 21,7±3 в молодняках до 7,7±0,9 % в спелых и перестойных древостоях, в то время как фитомасса хвои – основного ассимилирующего аппарата дерева – снижается до 13,7±2,2 в молодняках и до 3,1±0,7 % в спелых и перестойных древостоях.

Стволовая фитомасса является основной массообразующей фракцией древостоев на разных этапах онтогенеза лиственницы. Поэтому установлены корреляционные связи между запасами фитомассы отдельных фракций деревьев и стволовой массой лиственницы Гмелина в разных возрастных группах (рис. 1). Отмечено, что с увеличением возраста древостоев наблюдается существенное снижение тесноты связи фитомассы рассматриваемых фракций со стволовой. Коэффициенты корреляции (R=0,69–0,79) указывают на тесную зависимость запасов фитомассы ветвей и хвои от стволовой фитомассы в первых двух возрастных группах (рис. 1а, б). Так, максимальная их зависимость прослеживается в молодняках, где для корней корреляция составляет R=0,98, для хвои – 0,78 и 0,79 – для ветвей. В молодняках также отмечена высокая корреляция (R =0,98) между фитомассой хвои и массой физиологически активных корней (диаметр ≥1 мм).

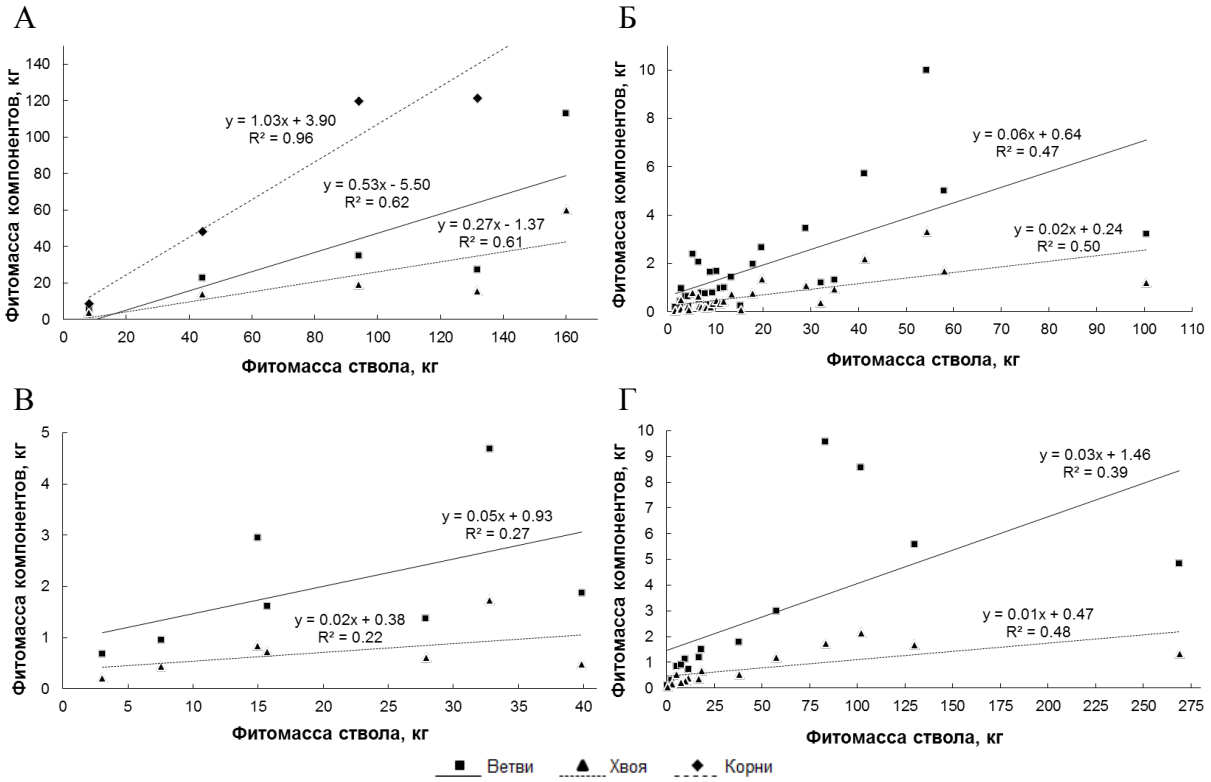


Рис. 1. Зависимость фитомассы отдельных компонентов дерева от стволовой массы у лиственницы в молодняках (А), средневозрастных (Б), спелых (В) и перестойных (Г) древостоях

Несколько слабее связи в средневозрастных древостоях, где для хвои и ветвей коэффициенты составляют 0,71 и 0,69 соответственно. В спелых и перестойных древостоях эти связи намного слабее и составляют для хвои 0,47; 0,69 и 0,52; 0,62 – для ветвей. Выявленные зависимости в спелых и перестойных древостоях указывают на

слабую и среднюю или незначительную тесноту связи: коэффициенты корреляции в них варьируют от 0,47 до 0,69.

Анализ уравнений показывает, что наиболее приемлемыми, соответствующими экспериментальным данным являются зависимости, выявленные для молодняков и средневозрастных древостоев лиственницы ($R^2 \geq 0{,}5$). В спелых и перестойных насаждениях уравнения нельзя признать адекватными фактическим данным: доля необъясненной дисперсии в них составляет 52–78 % при коэффициентах детерминации $R^2 \geq 0{,}22–0{,}48$ (рис. 1).

Возможно, это связано с недостаточным количеством взятых модельных деревьев в этих возрастных группах: 5 в спелых и 8 – в перестойных древостоях, или с эндогенными факторами, контролирующими распределение фитогормонов и ассимилятов в дереве.

Аналогичная закономерность снижения фитомассы хвои и ветвей с возрастом лиственницы прослеживается также и при выражении их запасов в процентах от стволовой массы и составляет соответственно в молодняках – 23,9±5,1 и 38,7±7,6; средневозрастных и приспевающих древостоях – 4,6±0,7 и 12,8±1,7; спелых – 4,5±0,78 и 12,7±2,6; перестойных – 3,7±0,87 и 8,9±1,21 %.

Заключение. В процессе онтогенеза у лиственницы происходят существенные изменения в структуре фитомассы отдельных ее фракций. Так, если в молодняках стволовая фитомасса составляет всего 64,6 % от всей надземной массы дерева, то в спелых и перестойных достигает 85 и 89,4 % соответственно. Одновременно идет резкое снижение фитомассы ветвей, и особенно хвои, масса которой снижается с 13,7 в молодняках до 3,1 % в перестойных насаждениях от надземной массы дерева.

Влияние стволовой фитомассы на формирование фитомассы отдельных компонентов дерева хорошо прослеживается на первых стадиях онтогенеза – в молодняках и средневозрастных древостоях. В спелых и перестойных древостоях роль стволовой массы несущественна, что связано, вероятно, с изменением контролирующей роли эндогенных факторов, распределяющих фитогормоны и ассимиляты в дереве.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абаимов А.П., Коропачинский И.Ю.* Лиственницы Гмелина и Каяндера. Новосибирск: Наука, 1984. 121 с.
2. *Вудвелл Д.М., Хафтон Р.Э.* Тайна великого северного леса // Устойчивое развитие бореальных лесов. М.: Федеральная служба лесного хозяйства РФ, 1997. С. 39.
3. *Данилин И.М.* Структурно-функциональная организация лиственничного фитоценоза послепожарной восстановительной сукцессии на севере Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. 2009. 1. С. 77–90.
4. *Демаков Ю.П., Пуряев А.С., Черных В.Л., Черных Л.В.* Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2 (26). С. 19–36.
5. *Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолодчиков Д.Г.* Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. 5. С. 3–10.
6. *Плешиков Ф.И., Каплунов В.Я, Токмаков С.В.* Структура фитомассы и годичная продукция северных лесов // Лесные экосистемы Енисейского трансекта / Ф.И. Плешиков, Е.А. Ваганов и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 73–83.
7. *Усольцев В.А.* Вертикально-фракционная структура фитомассы деревьев. Исследование закономерностей. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. 602 с.

8. *Усольцев В.А.* Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. 335 с.
9. *Kajimoto T., Matsuura Y., Osawa A., Abaimov A.P., Zyryanova O.A., Isaev A.P., Yefremov D.P., Mori S., Koike T.* Size-mass allometry and biomass allocation of two larch species growing on the continuous permafrost region in Siberia // Forest Ecol. Management. 2006. 222. P. 314–325. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.10.031.

УДК 330.15

ПОТЕНЦИАЛ УГЛЕРОДПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РОССИЙСКИХ ЛЕСОВ КАК ОСНОВА ВЫПОЛНЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ В РАМКАХ ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ ПО КЛИМАТУ

А.И. ПЫЖЕВ[1], Е.А. ВАГАНОВ[2], Е.В. ЗАНДЕР[3]

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (apyzhev@sfu-kras.ru[1], research@sfu-kras.ru[2], ezander@sfu-kras.ru[3])

Обсуждается роль российских лесов в механизмах влияния изменения климата на хозяйственную деятельность человека, а также потенциальные возможности и риски глобального потепления для России. Делается вывод о том, что участие страны в реализации целей Парижского соглашения требует глубокого содержательного анализа его последствий с учетом интересов развития национальной экономики.

POTENTIAL OF CARBON-DEPOSITING CAPACITY OF THE RUSSIAN FORESTS AS A BASIS FOR THE IMPLEMENTATION OF NATIONAL OBLIGATIONS UNDER THE PARIS CLIMATE AGREEMENT

A.I. PYZHEV[1], E.A. VAGANOV[2], E.V. ZANDER[3]

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (apyzhev@sfu-kras.ru[1], research@sfu-kras.ru[2], ezander@sfu-kras.ru[3])

The role of Russian forests in the mechanisms of the impact of climate change on human activities, as well as the potential opportunities and risks of global warming for Russia, is discussed. It is concluded that the country's participation in the implementation of the objectives of the Paris Agreement requires a deep meaningful analysis of its consequences, considering the interests of the development of the national economy.

Важнейшими механизмами влияния изменения климата на хозяйственную деятельность человека являются природные катастрофические явления (штормы, наводнения, засухи, лесные пожары, массовое размножение фитофагов и др.) и процессы постепенной деградации экосистем [2, 4]. Первая группа механизмов представляет большой интерес для общественного дискурса в силу мгновенного и объемного ущерба здоровью и жизни населения, потери производительных активов и инфраструктуры. Вторая же группа представляет явления, которые имеют, возможно, куда более масштабные и опасные последствия, однако в силу своей краткосрочной невыраженности находятся на периферии ежедневной повестки дня. Однако именно такие, долгосрочные процессы изменения климата требуют особого внимания в силу потенциального развития «эффекта домино», который может привести к массовой деградации материальных активов, потере человеческих жизней и/или существенному урону здоровью населения.

Важно понимать, что климатические изменения могут создавать потенциальные возможности экономического развития в зависимости от территориально-географических условий. Этот тезис во многом касается России, большая часть территории которой может стать куда привлекательнее для жизни и ведения экономической деятельности, если местный климат станет мягче и теплее. Особенно выраженное влияние, очевидно, будет оказано на лесное и сельское хозяйство [3]. Тем не менее, высокая неопределенность относительно траекторий долгосрочного развития многих последствий климатических изменений затрудняет практическое оценивание возможных эффектов для экономики и формирование соответствующих политических рекомендаций.

Разработка и внедрение механизмов глобальной координации усилий по борьбе с климатическими изменениями ведется уже не одно десятилетие, однако существенные

практические результаты в этом смысле так и не достигнуты [1, 5, 6]. Тем не менее, результатом проведенной в Париже в 2015 г. конференции по климату стало подписание соглашения, целью которого явилась разработка мер по ограничению повышения глобальной температуры воздуха двумя градусами по сравнению с показателями доиндустриальной эпохи. Таким образом, страны признали необходимость уменьшения существующих объемов выбросов к 2030 г. и полного их прекращения к 2050 г. Было отмечено, что с 2000 года удалось снизить энергоемкость экономики на 33 %, вместе с тем были перевыполнены обязательства по Киотскому протоколу и подтверждено намерение сократить выбросы в масштабах всей национальной экономики к 2030 г. на 25–30 % по сравнению с 1990 г. Делегации РФ на переговорах удалось добиться включения в текст документа статьи, посвященной вкладу лесов в поглощение углерода. Документ обязывает страны принимать все необходимые меры для сохранения лесов и позволяет реализовывать все международные проекты в данной области. Парижское соглашение признает роль поглотителей и накопителей парниковых газов в смягчении процессов глобального потепления. Следовательно, все страны должны содействовать сохранению и увеличению различных поглотителей и накопителей углерода, включая леса.

Международное политическое сотрудничество в целях смягчения и замедления глобального потепления нельзя признать эффективным для решения данной проблемы. Процессы глобального изменения климата характеризуются сложными эколого-экономическими взаимосвязями и требуют более детальной природы понимания причин его возникновения и конечных эффектов. В этой связи изменения, происходящие в окружающей природной среде, требуют не только концентрации внимания и усилий на проведении научных исследований и комплексном изучении климатических процессов, но и развития международного научного сотрудничества между Россией и остальными странами мира. Необходимо создание условий для международного и междисциплинарного научного сотрудничества, и изменение климата как глобальный процесс создает для этого все нужные предпосылки.

Существующая на настоящий момент в мире склонность к недооценке политических и социально-экономических последствий изменения климата, а также связанные с осуществлением политики в области климатических изменений риски требуют концентрации внимания на двух взаимосвязанных областях. Первая предполагает снижение степени неосведомленности о глобальном потеплении и его последствиях. Для этого необходимо задействовать человеческие и финансовые ресурсы в изучении естественных наук о Земле, что позволит получить более четкое представление о естественных процессах, которые вызывают смену климата. К сожалению, несмотря на различные споры о влиянии природных факторов на глобальное потепление, мало кто из ученых признает их существенный вклад в изменение климата. Новые полученные результаты исследований позволят разработать более эффективные направления климатической политики, нацеленной на адаптацию к последствиям данного процесса. Вторая область политики предполагает концептуализацию множества задач с целью обеспечения развития и безопасности. Не менее важным здесь является рассмотрение природных и человеческих рисков и сопоставление их с последствиями глобального потепления. Такое сравнение предоставит возможность рассчитать все издержки и выгоды при осуществлении управления рисками и использовать полученные результаты для совершенствования климатической политики. Для развития указанных концептуальных задач можно использовать несколько мер. На микроэкономическом уровне это переход к ресурсосберегающим и энергоэффективным технологиям с целью уменьшить объемы выбросов парниковых газов, а также комплексное управление рисками, как

финансовыми, так и природными. На макроэкономическом уровне должна проводиться государственная поддержка бизнеса и домашних хозяйств, чтобы содействовать им в сокращении выбросов углерода. Также необходимо внедрять политику в области климата и минимизации катастрофических рисков в международные стратегии развития.

Участие России в реализации целей Парижского соглашения требует глубокого содержательного анализа его последствий с учетом интересов развития экономики страны. Это убедительно свидетельствует о том, что вопросом надо очень серьезно заниматься и не торопиться с принятием конкретных и весьма опасных для экономики страны методик оценки углеродного бюджета.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Макаров И.* «Двойной дивиденд» вместо глобального альтруизма // Россия в глобальной политике. 2011. 9 (4). С. 142–154.
2. *Порфирьев Б.Н., Катцов В.М., Рогинко С.А.* Изменения климата и международная безопасность. Москва: РИФ «Д`АРТ», 2011.
3. *Чугункова А.В., Пыжев А.И., Пыжева Ю.И.* Влияние глобального изменения климата на экономику лесного и сельского хозяйства: риски и возможности // Актуальные проблемы экономики и права. 2018. 12 (3). С. 523–537. DOI: 10.21202/1993-047X.12.2018.3.523-537.
4. *Porfiriev B.* Climate change as a major slow-onset hazard to development: An integrated approach to bridge the policy gap // Environmental Hazards. 2015. 14 (2): 187–191. DOI: 10.1080/17477891.2015.1019823.
5. *Pyzhev A.I., Pyzheva Yu.I., Zander E.V.* Is the Coexistence of Indigenous People with Resource Extraction Companies in the Arctic Zone Possible? // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. 2013. 6 (10): 1544–1552.
6. *Rosen A.M.* The Wrong Solution at the Right Time: The Failure of the Kyoto Protocol on Climate Change // Politics & Policy. 2015. 43 (1): 30–58. DOI: 10.1111/j.1747-1346.2007.00080.x/abstract.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-18-00145).

УДК 614.841.2

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЖАРНОЙ АКТИВНОСТИ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ПО ДАННЫМ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КАЛЕВАЛЬСКИЙ»

Н.И. РЫЖКОВА[1, 2], Г. ПИНТО[3], А.М. КРЫШЕНЬ[1], И. БЕРЖЕРОН[2], К. ОЛС[4], И.В. ДРОБЫШЕВ[1, 3]

[1] Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия (ryzhkova@krc.karelia.ru, kryshen@krc.karelia.ru)
[2] Научно-исследовательский институт леса университета Квебека в Абитиби-Темискинг, Руэн-Норанда, Канада (Yves.Bergeron@uqat.ca)
[3] Южно-Шведский центр лесных исследований Шведского сельскохозяйственного университета, Арнарп, Швеция (Igor.Drobyshev@slu.se)
[4] Национальный географический институт Франции, Нанси, Франция (Clementine.Ols@ign.fr)

Выполнена реконструкция режима лесных пожаров в условиях ландшафта с преобладанием сосняков на территории национального парка «Калевальский». Анализировались спилы живой и мертвой древесины сосны обыкновенной, полученные на 38 пробных площадях. Хронология пожаров охватывает период с 1400 по 2017 г. и имеет ярко выраженную вековую изменчивость циклов лесных пожаров. Интенсивность лесных пожаров объясняется климатическими факторами и изменениями режима землепользования.

DENDROCHRONOLOGICAL RECONSTRUCTION OF FIRE ACTIVITY IN PINUS SYLVESTRIS-DOMINATED STANDS OF KALEVALSKY NATIONAL PARK, NORTH-WEST RUSSIA

N. RYZHKOVA[1, 2], G. PINTO[2], A. KRYSHEN[1], Y. BERGERON[2], C. OLS[4], I. DROBYSHEV[1, 3]

[1] Forest Research Institute of the Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia (ryzhkova@krc.karelia.ru; kryshen@krc.karelia.ru)
[2] Institut de recherche sur les forêts, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Canada (Yves.Bergeron@uqat.ca; Igor.Drobyshev2@uqat.ca)
[3] Swedish University of Agricultural Sciences, Southern Swedish Forest Research Centre, Alnarp, Sweden (Igor.Drobyshev@slu.se)
[4] Laboratoire d'Inventaire Forestier, Institut National de l'Information Géographique et Forestière, Nancy, France (Clementine.Ols@ign.fr)

We developed a spatially explicit dendrochronological reconstruction of a fire regime in pine-dominated forests of the Karelian boreal landscape located within the Kalevalsky National Park, North-West Russia. We reconstructed fire history from 38 sites, using samples of dead and live pine trees. The fire chronology spanned 1400–2010 AD and revealed a pronounced century-long variability in forest fire cycles. Fire cycle changes appeared to be associated with both human land use patterns and climate variability.

Пожары являются одним из ведущих факторов, определяющих динамику бореальных экосистем [1, 18]. Они напрямую воздействуют на общий баланс углерода, определяя его концентрацию в атмосфере, что в свою очередь влияет на изменение климата планеты [3, 4]. Взаимосвязи климата, пожарного режима и растительности сложны и требуют комплексных исследований, опирающихся на качественные эмпирические данные и моделирование взаимодействий между климатом (например, основными режимами атмосферной циркуляции), растительным покровом и факторами естественных нарушений. Понимание связи между климатом и пожарами и их взаимного влияния очень важно для прогнозирования воздействия климатических изменений и их последствий для экосистем бореальных лесов [2, 7–9, 11–12]. Недостаточность пространственно-временных реконструкций пожарной активности в

лесах европейской части России ограничивает наши возможности моделирования динамики растительности в связи с климатическими изменениями и антропогенным влиянием.

Мы разработали пространственно-временную дендрохронологическую реконструкцию пожарного режима в пределах бореального биома площадью 20x50 км, расположенного в национальном парке «Калевальский» и его окрестностях. В общей сложности нами было собрано 212 спилов живой и мертвой древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Чтобы получить хронологию хода роста для каждого образца, мы измеряли возраст и ширину древесного кольца с использованием программы CooRecorder [5]. Возможные ошибки датирования и измерений определялись в программе COFECHA [10, 13–14]. Перекрестная датировка образцов выполнялась в программе CDendro [5] с использованием маркерных лет [17], разработанных для области исследования. Хронология пожаров охватила период 1400–2010 гг. Мы использовали пожарные подсушины для датировки пожара путем подсчета годичных колец на спиле древесины. Проанализировав в общей сложности 630 пожарных подсушин, мы определили 184 пожара.

Исследуемый период показал выраженную вековую изменчивость цикла лесных пожаров (ПЦ). Ранний период (1400–1620 гг.) имел низкую пожарную активность (ПЦ составлял 178 лет), которая увеличилась в период с 1630 по 1920 г. (ПЦ = 46 лет), а затем снизилась в течение периода с 1930 по 2000 г. (ПЦ = 283 года). Полученные нами результаты не дали окончательного ответа о происхождении динамики ПЦ, хотя некоторые данные свидетельствуют о том, что климат способствовал увеличению пожарной активности в начале 1600-х годов, в то время как сочетание климатических и антропогенных факторов вызвало ее снижение в начале 1900-х годов. Современный ПЦ в НП «Калевальский» близок к оценкам, полученным в доколонизационный период в Скандинавии [6, 15, 16], что позволяет предположить, что леса области исследования в настоящее время поддерживают свой практически естественный пожарный режим. Пожар был основным фактором динамики лесов в этом регионе, и управление лесами должно учитывать этот факт при разработке стратегий лесопользования в Карелии и бореальных лесах европейской части России.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мелехов И.С.* Сезоны лесных пожаров и построение географической схемы лесопожарных поясов // Научные труды АЛТИ. 1946. 8. С. 1–15.
2. *Angelstam P.K., Anufriev V.M., Balciauskas L., Blagovidov A.K., Borgegard S.O., Hodge S.J., Majewski P., Ponomarenko S.V., Shvarts E.A., Tishkov A.A., Tomialojc L., Wesolowski T.* Biodiversity and sustainable forestry in European forests: How East and West can learn from each other // Wildlife Society Bulletin. 1997. 25 (1): 38–48.
3. *Bond-Lamberty B., Peckham S.D., Ahl D.E., Gower S.T.* Fire as the dominant driver of central Canadian boreal forest carbon balance // Nature. London, 2007. 450 (7166): 89–92.
4. *Bowman D.M., Murphy B.P., Boer M.M., Bradstock R.A., Cary G.J., Cochrane M.A., Fensham R.J., Krawchuk M.A., Price O.F., Williams R.J.* Forest fire management, climate change, and the risk of catastrophic carbon losses // Frontiers in Ecology and the Environment. 2013. 11 (2): 66–8.
5. *Cybis* dendro dating program v. 9.0. Cybis Elektronik and Data AB. [Internet]. 2017.
6. *Drobyshev I., Bergeron Y., de Vernal A., Moberg A., Ali A., Niklasson M.* Atlantic SSTs control regime shifts in forest fire activity of Northern Scandinavia // Sci Rep. 2016. 6: 1–13.
7. *Drobyshev I., Goebel P., Bergeron Y., Corace R.* Detecting changes in climate forcing on the fire regime of a North American mixed-pine forest: A case study of Seney National Wildlife Refuge, Upper Michigan // Dendrochronologia. 2012. 30 (2): 137–45.

8. *Drobyshev I., Granstrom A., Linderholm H.W., Hellberg E., Bergeron Y., Niklasson M.* Multi-century reconstruction of fire activity in Northern European boreal forest suggests differences in regional fire regimes and their sensitivity to climate // Journal of Ecology. 2014. 102 (3): 738–48.
9. *Girardin M.P., Ali A.A., Carcaillet C., Gauthier S., Hely Сю, Le Goff H., Terrier A., Bergeron Y.* Fire in managed forests of eastern Canada: Risks and options // Forest Ecology and Management. 2013. 294: 238–49.
10. *Grissino-Mayer H.D.* Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA // Tree-Ring Research. 2001. 57 (2): 205–21.
11. *Groven R., Niklasson M.* Anthropogenic impact on past and present fire regimes in a boreal forest landscape of southeastern Norway // Canadian Journal of Forest Research. 2005. 35 (11): 2719–26.
12. *Kuuluvainen T., Aakala T.* Natural Forest Dynamics in Boreal Fennoscandia: a Review and Classification // Silva Fennica. 201. 45 (5): 823–41.
13. *Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree Ring Bullet. 1983. 43: 69–78.
14. *Holmes R.L.* Dendrochronological Program Library (DPL). Users Manual. http://www.ltrr.arizona.edu/pub/dpl/: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 1999.
15. *Niklasson M., Granström A.* Numbers and sizes of fires: Long-term spatially explicit fire history in a Swedish boreal landscape // Ecology., 2000. 81 (6): 1484–99.
16. *Niklasson M., Drakenberg B.* A 600-year tree-ring fire history from Norra Kvills National Park, southern Sweden: implications for conservation strategies in the hemiboreal zone // Biological Conservation. 2001. 101 (1): 63–71.
17. *Stokes M.A., Smiley T.L.* An introduction to tree-ring dating: University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA, 1968. P. 73.
18. *Stocks B.J., Wotton B.M., Flannigan M.D., Fosberg M.A., Cahoon D.R., Goldammer J.G.* Boreal Forest Fire Regimes And Climate Change. In: Beniston M, Verstraete MM, editors. Remote Sensing and Climate Modeling: Synergies and Limitations. Dordrecht // Springer Netherlands. 2001. P. 233–46.

УДК 630

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ИХ ГРАНИЦ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕЙ

М.Ю. САЛТЫКОВ[1], О.Э. ЯКУБАЙЛИК[2], С.И. БАРЦЕВ[1]

[1] Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия (saltykoff.mixail@yandex.ru)
[2] Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия

В работе была исследована применимость искусственных нейросетей к определению типов растительности на мультиспектральных спутниковых снимках. Были исследованы три главных типа растительности в Красноярском крае: смешанные леса, хвойные леса и луга. Были использованы изображения спутника «Сентинел-2». Было показано, что тип растительности может быть определен посредством анализа 12 спектральных каналов. При этом отмечено, что наибольший вклад в определение нейросетью типа растительности дают спектральные каналы, не входящие в индекс NDVI.

IDENTIFICATION OF VEGETATION TYPES AND ITS BOUNDARIES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

M.Yu. SALTYKOV[1], O.E. YAKUBAILIK[2], S.I. BARTSEV[1]

[1] Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (saltykoff.mixail@yandex.ru)
[2] Institute of Computation modeling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

The applicability of artificial neural networks (ANN) for the identification of vegetation type by satellite multispectral imagery was studied. The study was focused on three main vegetation types of the South of Krasnoyarsk region: mixed forest, boreal forest and grassland. Sentinel-2 satellite images as data source for neural network were used. It was shown that vegetation type can be identified pixel-by-pixel using 12 spectral channels and simple feed forward ANN with good quality and reliability. Analysis of input layer of trained neural networks allowed selecting several spectral bands that were the most valuable for ANN decision and not used in classic NDVI vegetation index.

Введение. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) имеет большое значение в науках о Земле. Одним из наиболее распространенных методов ДЗЗ является анализ мультиспектральных спутниковых снимков. Они позволяют отслеживать изменения вегетационных индексов, таких как NDVI, и других важных экологических показателей. В силу большого количества предоставляемых современными спутниками данных требуется их автоматическая обработка. Существуют два основных направления автоматического распознавания изображений: статистические методы и методы машинного обучения (МУ) [1, 2, 3]. Преимуществом статистических методов является их «прозрачность»: можно объяснить каждый этап обработки. Но одновременно это является и их недостатком. Если мы видим, что статистический метод не дает удовлетворительного результата, требуется подбирать или разрабатывать новый.

В то же время методы МУ обычно «непрозрачны» (особенно в случае нейросетей) – мы знаем лишь общие принципы их работы. Но при этом в ходе машинного обучения выбирается способ решения задачи, оптимальный для выделенных ресурсов. Нужен лишь набор данных, достаточно большой для обучения. В ряде применений методов МУ сбор обучающей выборки является серьезной проблемой – но не в случае с обработкой спутниковых снимков. Остается лишь подобрать адекватную модель машинного обучения.

В работе [3] было использовано три алгоритма МУ для предсказания средней наземной биомассы по данным спутника «Сентинел-2»: слоистая нейросеть [4], метод опорных векторов (МОВ) [5] и случайный лес [6]. Кроме того, был использован статистический метод географически-взвешенной регрессии (ГВР) [7]. ГВР показала худшие результаты в смысле среднестатистического отклонения, наилучшие же результаты были получены МОВ и нейросетью.

В работе [3] предсказывающий алгоритм помимо спектральных каналов получал индексы вегетации, которые также являются функциями спектральных каналов. Такой подход может быть полезен для МОВ, поскольку увеличение размерности вектора, как правило, повышает разделимость классов в МОВ. Однако нейросеть способна вычислять нужные для ее работы индексы самостоятельно. Целью данной работы было проверить возможность использования одних спектральных каналов в качестве входных данных нейросети и определить наиболее значимые из них.

Данные. В данной работе мы использовали слоистую нейросеть прямого распространения для определения типов растительности и границ раздела типов растительности. Мы использовали 12 спектральных каналов (табл. 1) спутника «Сентинел-2» для обучения нейронной сети. Аналогично работе [3] не был использован канал B01 (443 нм, прибрежные аэрозоли), поскольку он очевидно неинформативен для выбранного объекта исследования.

Таблица 1. Мультиспектральные каналы «Сентинел-2», использованные для обучения нейросети

Имя канала	Длина волны, нм	Описание
B02	490	Видимый синий
B03	560	Видимый зеленый
B04	665	Видимый красный
B05	705	Красная граница вегетации
B06	740	Красная граница вегетации
B07	783	Красная граница вегетации
B08	842	Ближний ИК
B09	945	Водяной пар
B10	1375	Коротковолновое ИК
B11	1610	Коротковолновое ИК
B12	2190	Коротковолновое ИК
B08A	865	Красная граница вегетации

Результаты. Наилучшие результаты были достигнуты при структуре нейросети 12-15-15-15-3 (количества нейронов в слое). Результаты определения типов растительности показаны на рис. 1.

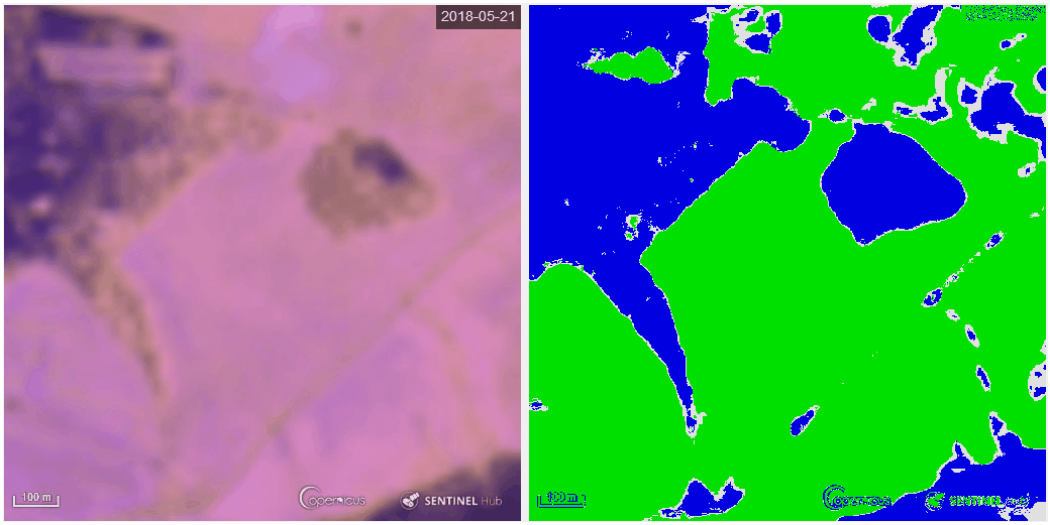


Рис. 1. Результаты работы нейросети-классификатора. Справа – необработанное спутниковое изображение (каналы B11, B12, B08A), слева – карта с результатами работы. Синее – хвойный лес, красное – смешанный, зеленое – луг, белое – не определено

ЛИТЕРАТУРА

1. *Atkinson P.M., Tatnall A.R.L.* International Journal of remote sensing. 1997. **18.4.** 699–709.
2. *Nogueira K., Otávio A.P. and Jefersson A.* Towards better exploiting convolutional neural networks for remote sensing scene classification. 2017. **61.** 539–556.
3. *Chen L., Ren C., Zhang B., Wang Z. and Xi Y.* Forests. 2018. **9.10**. 582.
4. *Rosenblatt F.* The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain // Psychological review. 1958. **65.6.** 386.
5. *Sharifi A., Amini J., Tateishi R.* Photogramm. Eng. Remote Sens. 2016. **82.** 41–49.
6. *Breiman L.* Mach. Learn. 2001. **45.** 5–32.
7. *Brunsdon C., Fotheringham S., Charlton M.* Workshop on Local Indicators of Spatial Association. 1998. **47.** 431–443.
8. *Hecht-Nelsen R.* Neural networks for perseption. 1992. 65–93.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41012.

УДК 581.526 + 581.524.4 + 574.42

ЛЕСА И РЕДКОЛЕСЬЯ ТАЕЖНО-ГОЛЬЦОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ХР. ЕРГАК-ТАРГАК-ТАЙГА

А.Д. САМБУУ

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия (sambuu@mail.ru)

Для южной части Восточного Саяна охарактеризована зональность (поясность) растительного покрова, выявлена структура лесов и редколесий, подготовлены карты современного растительного покрова и ботанико-географического районирования.

FORESTS AND WOODLANDS OF THE TAIGA-BALD MOUNTAIN LANDSCAPES ERGAK-TARGAK-TAIGA RIDGE

A.D. SAMBUU

Tuvan Institute for the exploration of natural resources SB RAS, Kyzyl, Russia (sambuu@mail.ru)

For the southern part of the Eastern Sayan the zoning (explanatory) of vegetation cover is characterized, the structure of forests and woodlands is revealed, maps of modern vegetation cover and Botanical and geographical zoning are prepared.

Исследования проводили в период 2007–2017 гг. в северо-восточной части Тувы в верховьях реки Ак-Суг, дренирующей южные склоны горной системы Восточный Саян. Маршрутные исследования проведены на южных склонах Восточного Саяна на сочленении с Западным Саяном (хр. Ергак-Таргак-Тайга), хребтах Соругский, Даштыг-Хемский, Озерный, Арысканныг, Даштыг-Арт (абс. выс. 1800–2783 м), в долинах рек Ак-Суг, Соруг, Кара-Хем, Кижи-Хем, Биче-Кадыр-Ос, Улуг-Кадыр-Ос, Хам-Сыра, Чаваш.

Согласно схеме природного районирования территории Тувы [1], территория исследований относится к Восточно-Саянскому горному гольцово-таежному району. Восточно-Саянский район находится на северо-восточной окраине Тувы. Рельеф сильно расчлененный с острыми пиками и гребнями. Климат отличается продолжительностью морозного периода, сильными снежными буранами, недостаточным летним теплом, частыми летними дождями преимущественно грозового характера. Осадков выпадает около 800 мм в год, причем на теплый отрезок времени приходится до 70 % от их годового количества. Почвы горно-тундровые, горно-луговые, горно-таежные, сформировавшиеся на различных горных породах [2].

Подгольцово-редколесные ледниково-эрозионные и эрозионно-денудационные ландшафты занимают довольно обширные площади в восточной и южной частях изученного района. По высотному положению и по характеру они являются переходными от высокогорных (гольцовых) ландшафтов к среднегорно-лесным. Формирование рельефа здесь происходило при участии ледников, а также денудационных и эрозионных процессов. По специфике рельефа и покрова рыхлых отложений нами выделены ландшафты крутых расчлененных склонов, среднерасчлененных, местами пологих склонов и ландшафты днищ ледниковых каров.

Крутосклонные расчлененные скалисто-осыпные ландшафты распространены на ограниченных площадях. Коллювиальные осыпи представлены грубообломочным материалом с практически полным отсутствием мелкоземистой части. Фрагментарно отмечаются моренные отложения. Растительный покров на свежих незакрепленных грубообломочных осыпях и скальных выходах практически отсутствует. На отдельных участках встречаются редкостойные кедровые леса с ерниками, мелколиственными породами. На моренных щебнисто-глыбово-суглинистых отложениях фрагментарно

встречаются кедровые редколесья с субальпийскими лугами. Почвенный покров представлен горными торфянисто-перегнойными мерзлотными почвами в комплексе с горно-луговыми субальпийскими примитивными перегнойными сильнокаменистыми почвами.

Наибольшую площадь среди подгольцовых ландшафтов занимают редколесные ландшафты на среднерасчлененных, местами выположенных склонах (рис. 1). Поверхности покрыты покровом делювиально-дефлюкционных суглинисто-щебнистых отложений. Крутизна таких склонов от 8–10° до 35°. Они возникают в результате медленного массового перемещения материала вниз по склону в виде медленного выдавливания слабоувлажненных грунтовых масс под почвенно-растительным слоем. Дефлюкция тесно связана с крипом, возникающим под влиянием периодического изменения объема грунтовой массы, вызываемого колебанием температуры, попеременным промерзанием и оттаиванием. В формировании этой категории склонов активно принимают участие и делювиальные процессы, при которых перемещение материала вниз по склону происходит в результате стока дождевых или талых вод. Местами также отмечаются коллювиальные осыпные и обвальные образования, выходы скальных пород.



Рис. 1. Ландшафты редколесий с осыпными склонами и скальными выходами

Растительность представлена кедровыми редколесьями с примесью высокогорных кустарников (березка круглолистная, ива нарядная и сизая, спирея альпийская, курильский чай и др.), мхов и лишайников, горно-тундровых и субальпийских травянистых многолетников (дороникум алтайский, соссюрея широколистная, родиола розовая, маралий корень и др.). На северных и восточных склонах преобладают подгольцовые редколесья из кедра кустарниково-осоково-моховые (*Betula rotundifolia* Spach*, Salix glauca* L.*, S. vestita* Pursh*, Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz*, Spiraea alpina* Pall.*, Lonicera altaica* Pall. ex DC.*, Rhododendron aureum* Georgi*, Rh. adamsii* Rehd*,*

Vaccinium uliginosum L., *Carex iljinii* V.I. Krecz., *C. globularis* L., *C. ledebouriana* C.A. Mey. ex Trevir., *Cetraria islandica* Ach. и др.). На южных и западных склонах развиты в основном субальпийские редколесья из кедра ерниково-злаково-разнотравные (*Betula rotundifolia, Salix glauca, S. vestita, Lonicera altaica* L., *Geranium albiflorum* Ledeb., *Saussurea pulchella* (Fisch.) Fisch., *Macropodium nivale* (Pallas) R.Br., *Doronicum altaicum* Pall., *Trollius asiaticus* L., *Bupleurum triradiatum* Adams ex Hoffm, *Anthoxanthum alpinum* A. et D. Löve., *Poa sibirica* Roshev. и др.). Кроме названных групп типов редколесий, встречаются редколесья из кедра бадановые (*Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch) и кустарничково-моховые (*Ledum palustre* L., *Vaccinium uliginosum, V. myrtillus* L., *Rhododendron adamsii, Salix berberifolia* Pall., *S. rectijulis* Ledeb. ex Trautv.).

Почвенный покров редколесий пестрый и неоднородный. Здесь широко распространены горно-таежные почвы и почвы субальпийских лугов. Горно-луговые субальпийские почвы представляют собой более «теплый» вариант луговых почв, характеризуются большей мощностью гумусового горизонта, большим содержанием гумуса в нем; в окраске горизонта преобладают серые оттенки. Горизонт не выдержан по мощности – 13–30 см. Подгумусовая часть профиля сильно камениста, близко подстилается элювием. Данный подтип почв развивается под пышными субальпийскими лугами у высокогорных ручьев, а также в поясе субальпийского редколесья. В составе травостоя значительную долю составляют корневищные злаки. Под участками леса развиты горно-таежные перегнойно-торфянистые, горно-таежные перегнойные почвы, по наиболее затененным урочищам встречаются горно-таежные мерзлотные почвы.

Ландшафты днищ каров и ледниковых ступеней выделены нами в южной части района исследования, где представлены формы ледниково-эрозионного рельефа – кары хр. Восточный, Озерный, Пиритовый и Центральный с 2–3 уровнями каровых лестниц. В рельефе днища каров представляют собой пониженное углубление. От склона горы каждый кар отграничен порогом. В каждом каре наблюдаются хорошо выраженные в рельефе каровые лестницы – ряд следующих друг за другом плоскодонных участков. Днища каров покрыты покровом рыхлых отложений, являющихся продуктом морозного разрушения горных пород, транспортированных в процессе эрозии, дефлюкции, гравитационного сноса; кроме того, распространены моренные отложения. Щебнисто-глыбистые дефлюкционные, коллювиальные, валунно-глыбово-щебнисто-суглинистые моренные отложения в силу причин их аккумуляции (осыпи, обвалы, оползни) образуют волнистый рельеф поверхности днища.

Растительность днищ каров и каровых ступеней преимущественно кедрово-редколесная в комплексе с субальпийскими лугами и зарослями ерников на горно-таежных перегнойных, местами торфянисто-глеевых горно-луговых субальпийских почвах. На ступенях высоких уровней распространены горные тундры на горно-тундровых дерновых сильнокаменистых почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Носин В.А.* Природные районы Тувинской области. Природные условия Тувинской автономной области. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1957. С. 240–264.
2. *Носин В.А.* Почвы Тувы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 342 с.
3. *Горбачев В.Н.* Почвы Восточного Саяна. М.: Наука, 1978. 200 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-44-170001–«р_а»).

УДК 631.417.1

ПУЛЫ УГЛЕРОДА ЛЕСОСТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ ХР. ТАННУ-ОЛА

А.Д. САМБУУ

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия (sambuu@mail.ru)

Изучены запасы углерода растительности и почв лесостепных экосистем хр. Танну-Ола, которые могут быть использованы в качестве индикаторов экологических процессов для выявления степени антропогенного воздействия на почвенно-растительный покров и в целом структуры и функционирование природных экосистем.

CARBON POOLS OF FOREST-STEPPE ECOSYSTEMS OF THE TANNU-OLA RIDGE

A.D. SAMBUU

Tuvan Institute for the exploration of natural resources SB RAS, Kyzyl, Russia (sambuu@mail.ru)

The carbon reserves of vegetation and soils of forest-steppe ecosystems of Tannu-Ola ridge were studied. Tannu-Ola, which can be used as indicators of environmental processes to identify the degree of human impact on the soil and vegetation cover and in general the structure and functioning of natural ecosystems.

Объект исследования – лесостепные экосистемы хр. Танну-Ола – входит в состав горной лесостепи Алтае-Саянской горной области и связан с горными котловинами и горными сооружениями, окружающими котловины.

Высокогорная Алтае-Саянская ступень объединяет три основные горные системы: Алтай, Западный Саян, Восточный Саян и подразделяется на две части: Алтайскую и Саяно-Тувинскую. К Саяно-Тувинской относятся хребты Западный и Восточный Саян, Саяно-Тувинское нагорье, хр. Академика Обручева, Западный и Восточный Танну-Ола, нагорье Сангилен и расположенные между ними межгорные котловины. Основные хребты Восточного Саяна расположены в субмеридиональном, Западного Саяна – в субширотном, Танну-Ола – в широтном направлении [1].

Хребет Танну-Ола является водоразделом между бассейном Енисея и бессточной Убсунурской котловиной. На востоке граничит с нагорьем Сангилен, на севере – с Центрально-Тувинской котловиной (днище 600–800 м н. у. м.), которая вытянута в широтном направлении от Алтая до Восточно-Тувинских гор. Котловина состоит из трех впадин: западной – Хемчикской, центральной – Улуг-Хемской, восточной – Тувинской (или Кызылской). Южные шлейфы Танну-Ола спускаются в бессточную Убсунурскую котловину. В Туве находится только северная часть котловины.

Лесостепь – климатически обусловленная территория, на которой закономерно сочетаются степные и лесные сообщества. Горная лесостепь представляет собой высотный пояс в горах северного обрамления Центральной Азии – юга Сибири и севера Монголии [2], лесостепь Алтае-Саянской горной области – самый западный его фрагмент. Многие исследователи отмечают, что лесостепь в горах юга Сибири образует отдельный высотный пояс (подпояс).

Климат Танну-Ола определяется его географическим положением, местными условиями и самим горным массивом. Району присущи смешение черт монгольского и сибирского климата и резкие микроклиматические различия на незначительных расстояниях. Для резко континентального климата района характерны большая амплитуда температур и сравнительно малое количество осадков. Средние годовые температуры в горах везде отрицательны (4–6 °С и ниже) [3].

В формировании флоры и растительности сказывается влияние гумидного климата Сибири и аридного опустыненных степей Монголии. Горная лесостепь объединяет

гумидный и семигумидный секторы. Основные растительные сообщества лесостепного подпояса типичны для экспозиционной лесостепи: световые склоны занимают луговые степи, теневые – остепненные травяные смешанные леса и остепненные лесные луга. К выходам камней на световых склонах приурочены петрофитные разнотравно-дерновиннозлаковые степи.

Методы исследования включали геоботанические описания и отбор проб надземного и подземного растительного вещества, почвенных монолитов [4–6]. Структура растительного вещества травяных экосистем характеризуется запасами растительного вещества и его компонентов [7]: зеленая фитомасса (*G*), многолетние подземные органы (*Pr*), ветошь (*D*), подстилка (*L*), живые (*B*) и мертвые (*V*) подземные органы. Надземная фитомасса степи слагается из зеленой фитомассы, одревесневших органов (*Pr*), ветоши и подстилки (*G+Pr+D+L*), подземная (*B*) – из узлов кущения, живых корней (*R*) и корневищ (*Rh*) и мертвых растительных остатков (*V*) [8, 9].

В лесостепных травяных экосистемах, по усредненным данным (табл. 1), пул углерода растительного вещества ($C_{РВ}$) изменяется от 824 до 2529 г/м^2. Запас растительного вещества (РВ) максимален в лугах и луговых степях Улуг-Хемской котловины и минимален в опустыненных степях Убсунурской котловины. На более континентальных и холодных экосистемах повышение $C_{РВ}$ связано с накоплением подземной мортмассы, что обусловлено замедлением скорости разложения растительных остатков при уплотнении почвы и пониженных температурах.

Таблица 1. Пул углерода ($C_{рв}$), г/м^2 в лесостепных травяных экосистемах хр. Танну-Ола

Район исследования	G	D+L	R(0-20)	V(0-20)	РВ
Мезофитные луга на лугово-черноземных почвах					
Центральная Тува	*Улуг-Хемская котловина*				
среднее	271	202	963	384	1820
ошибка среднего	20,5	15,8	49,4	54,9	
Луговые засоленные экосистемы					
Южная Тува	*Убсунурская котловина*				
среднее	75,5	46,8	502	387	1011
ошибка среднего	30,7	4,0	203,0	11,4	
Остепненные луга и луговые степи на черноземах выщелоченных и обыкновенных					
Центральная Тува	*Улуг-Хемская котловина*				
среднее	600	531	783	615	2529
ошибка среднего	58,2	211,0	67,2	145,1	
Настоящие степи на черноземах обыкновенных, южных и темно-каштановых почвах					
Центральная Тува	*Тувинская котловина*				
среднее	122	135	842	758	1857
ошибка среднего	2,73	162	123	156	
Сухие степи на каштановых почвах					
Южная Тува	*Убсунурская котловина*				
среднее	157	67,9	191	571	987
ошибка среднего	46,5	13,3	32,0	85,3	
Опустыненные степи на светло-каштановых почвах					
	Убсунурская котловина				
среднее	78,8	62,2	356	327	824
ошибка среднего	3,6	7,12	20,5	15,8	
Петрофитные степи					
Юго-Западная Тува	*Убсунурская котловина*				
среднее	85	98	384	483	1237
ошибка среднего	22,1	14,2	38,4	62,2	

Запас надземной мортмассы (D+L) изменяется в широких пределах и является наивысшим в мезофитных лугах, на остепненных лугах и в луговых степях на черноземах выщелоченных и обыкновенных Улуг-Хемской котловины – 531 г/м², наименьшим – 46,8 г/м² – на луговых засоленных экосистемах Убсунурской котловины. Основная часть живой надземной фитомассы на лугах и в луговых степях сложена видами разнотравья, кострецом, мятликом, лисохвостом, в настоящих степях – ковылем сибирским, ковылем Крылова, овсецом, житняком, в сухих степях – ковылем Крылова, змеевкой, житняком, типчаком и тонконогом. Низкие запасы ветоши в летний период здесь позволяют судить о том, что из-за поедания животными зеленой части растений ветошь почти не образуется или сразу переходит в подстилку при вытаптывании.

Обобщение проведенных многолетних наблюдений за динамикой пула углерода лесостепных экосистем и литературных материалов показало, что средние запасы растительного вещества и отдельных компонентов в настоящих и сухих степях Центральной Азии, куда входят степи Танну-Ола, довольно близки, а запасы некоторые фракций существенно выше, чем в степях Причерноморско-Казахстанских областей. Средний запас зеленой фитомассы в настоящих и сухих степях составляет 100–130 г/м^2, запас живых подземных органов – 800 г/м^2.

Концентрация углерода почвенно-органического вещества ($С_{ПОВ}$) в слое почвы 0–20 см на каштановых супесчаных почвах составляет 428 мг/100 г, светло-каштановых супесчаных – 182 мг/100 г, запасы гумуса в слое почвы 0–50 см – 40–75 т/га.

Количественные закономерности накопления органического углерода в почвах лесостепных травяных экосистем Танну-Ола существенно различаются в зависимости от конкретной обстановки, в которой происходит формирование и депонирование биотермодинамически устойчивых структур органических соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Макунина Н.И.* Растительность лесостепи Западно-Сибирской равнины и Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Академ. изд-во «ГЕО», 2016. 183 с.
2. *Бахтин Н.П.* Климатические особенности и агроклиматические ресурсы Тувинской АССР // Сб. работ Красноярской гидрометеорологической обсерватории. № 1. Красноярск, 1968. С. 26–68.
3. *Намзалов Б.Б.* Горная лесостепь Южной Сибири – ландшафтный феномен Центральной Азии // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. Чтения памяти Л.М. Черепнина: тез. докл. Второй росс. конф. Красноярск, 1996. С. 215–217.
4. *Шенников А.П.* Введение в геоботанику. Л: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.
5. *Воронов А.Г.* Геоботаника. М.: Высш. шк., 1973. 385 с.
6. *Титлянова А.А.* Изучение биологического круговорота в биогеоценозе (Методическое руководство). Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. 31 с.
7. *Титлянова А.А.* Биологический круговорот углерода в биогеоценозах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 220 с.
8. *Титлянова А.А.* Первичная продукция и запасы гумуса в экосистемах. Проблемы почвоведения в Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. С. 47–53.
9. *Базилевич Н.И., Титлянова А.А.* Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 381 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-44-170001–«р_а»).

УДК 630*182.5(571.1)

ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ ЛЕСА НА ОСНОВЕ ЭКОЛОГО-ДИНАМИЧЕСКИХ РЯДОВ РАЗВИТИЯ БИОГЕОЦЕНОЗОВ

С.Н. САННИКОВ, Н.С. САННИКОВА

Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия (sannikovanelly@mail.ru)

В итоге изучения восстановительно-возрастной динамики сосновых лесов обоснованы концепция эколого-динамических рядов развития биогеоценозов (ЭДР БГЦ) в пределах коренных типов леса и эколого-генетическая классификация типов леса на ее основе.

ECOLOGIC-GENETICAL CLASSIFICATION OF FOREST TYPES ON BASIS OF ECOLOGIC-DYNAMICAL SERIES OF BIOGEOCENOSES

S.N. SANNIKOV, N.S. SANNIKOVA

Botanical Garden UrB RASc, Ekaterinburg, Russia (sannikovanelly@mail.ru)

As a result of age-restoration dynamics study of the pine forests a conception of ecologic-dynamic series of biogeocenoses development in the radical forest types and an ecologic-genetic classification of forest types have been substantiated.

Согласно принципам классической генетической лесной типологии Б.А. Ивашкевича [1], разработанным около 100 лет назад и развитым Б.П. Колесниковым [2], коренной (автохтонный) тип леса представляет собой монолинейный ряд восстановительно-возрастных стадий развития типов «насаждений» (биогеоценозов, БГЦ) в пределах одного типа лесорастительных условий (ТЛУ). Однако при таком подходе оценивается влияние на динамику БГЦ лишь какого-либо одного деструктивного агента, а роль других экзогенных катастроф не отражается. Это не позволяет выявить реальную весьма многовариантную динамику лесных экосистем.

Многолетние исследования [4–6, 7, 8] показали, что после экологических катастроф – пожаров, ветровалов, массовых энтомоинвазий, рубок и т. д. – на месте одного коренного типа леса формируются качественно различные констелляции факторов лесовозобновительной среды, направления лесовозобновления и ряды восстановительно-возрастных смен производных биогеоценозов. Установлено, что они достоверно (иногда альтернативно) отличаются друг от друга по параметрам видового состава, структуры и функций дендро- и фитоценозов.

Обобщая исследования по данной проблеме, мы еще около полувека назад [4] предложили эмпирико-теоретическую схему дивергенции-конвергенции «эколого-динамических рядов естественного возобновления и развития биогеоценозов» (ЭДР БГЦ) в пределах одного типа леса под влиянием различных стихийных и антропогенных экологических катастроф (пожаров, ветровалов, энтомоинвазий, рубки, раскорчевки-распашки, выпаса, сенокошения и т. д.). Позднее разработана модель факторов-детерминантов дивергенции-конвергенции БГЦ и концепция ЭДР БГЦ [6, 7, 8].

Цель данного доклада – краткое обоснование принципов инновационной системы генетической классификации типов леса на основе концепции ЭДР БГЦ.

Концепция ЭДР БГЦ. Естественный лес (лесной БГЦ) представляет собой многовидовую, но структурно-функционально целостную динамически стабильную биогеоценоэкосистему. Различные стихийные и антропогенные экологические катастрофы, закономерно (апериодически циклично) повторяющиеся в лесах, оказывают далеко не одинаковое влияние на структуру и функции видов биоценоза. Например, пожар в сосняке-черничнике подавляет порослевое, но стимулирует семенное возобновление популяций березы и волну возобновления сосны, а рубка

оказывает противоположный эффект. В итоге воздействия различных катастроф на отдельных участках одного и того же типа леса (и даже БГЦ) складываются разные комплексы факторов среды и направления лесовозобновления, программирующие дивергенцию БГЦ. Таким образом, в однородном ТЛУ типа леса может формироваться несколько («пучок») качественно различных серий производных БГЦ. Однородные по происхождению (типу исходной катастрофы), динамике видового состава дендро- и фитоценоза совокупности восстановительно-возрастных серий БГЦ представляют собой различные типы эколого-динамических рядов развития биогеоценозов (ЭДР БГЦ.

К числу основных экологических факторов-детерминантов видового состава лесовозобновления, а также направления возрастной и вековой динамики БГЦ относятся: 1. Тип, интенсивность и давность экологической катастрофы. 2. Сохранность древостоя и подроста главных лесообразующих видов. 3. Уровень их инсеминации. 4. Доля предпочитаемого их самосевом типа субстрата.

ЭДР БГЦ хорологически и экологически четко отграничены друг от друга и легко выделяемы в лесу по диагностическим признакам растительности и почвы. Во времени они охватывают все стадии восстановительно-возрастных и вековых смен БГЦ до тех пор, пока не произойдет конвергенция их структуры с субклимаксовой структурой автохтонного типа леса или радикальная трансформация эдафоэкотопа (ТЛУ) и, следовательно, типа леса.

Эколого-генетическая классификация типов леса. Система эколого-генетической классификации типов леса на основе ЭДР БГЦ в пределах автохтонных типов леса представлена на примере сосновых лесов песчаных надпойменных террас рек предлесостепи Западной Сибири (рис. 1). Коренные типы сосняков классифицированы нами по В.Н. Сукачеву [9], а их производные ЭДР БГЦ, возникающие здесь в основном под влиянием пожаров, рубок и на пашнях, стационарно изучены в течение 60 лет.

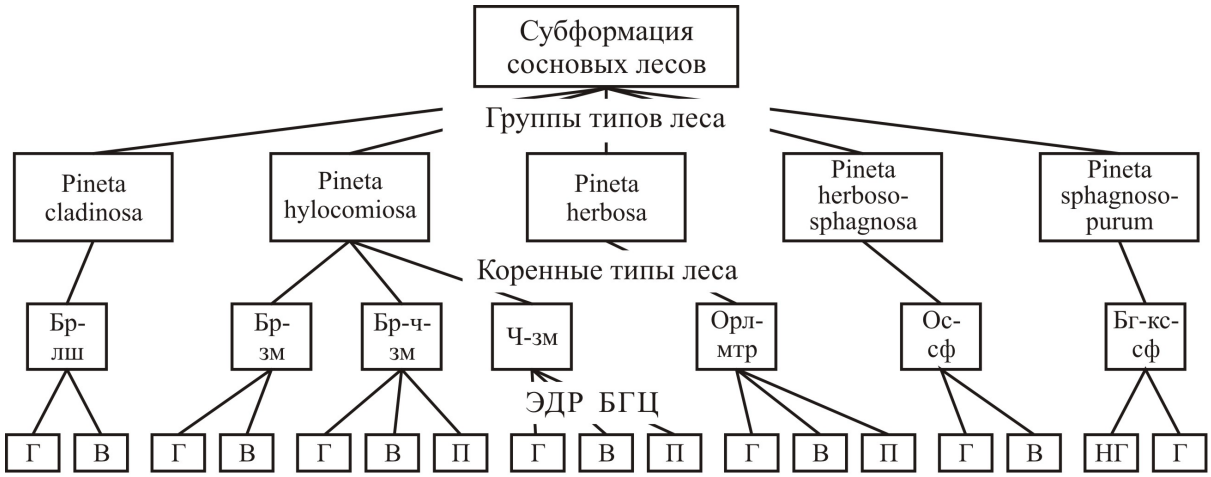


Рис. 1. Эколого-генетическая классификация типов сосновых лесов предлесостепи Западной Сибири на основе ЭДР БГЦ. Коренные типы леса: бр-зм – бруснично-зеленомошный, бр-ч-зм – бруснично-чернично-зеленомошный, ч-зм – чернично-зеленомошный, орл-мтр – орляково-мелкотравный, ос-сф – осоково-сфагновый, бг-кс-сф – багульниково-кассандрово-сфагновый. ЭДР БГЦ: Г – гарь, В – вырубка, П – пашня, НГ – негорелый БГЦ

Основной низшей систематической единицей эколого-генетической классификации типов леса являются типы ЭДР БГЦ – хороэкологически обособленные, различные по катастрофе происхождения, особенностям напочвенной среды (субстрата), возобновления и динамики популяций главного лесообразующего вида, совокупности однородных серий восстановительно-возрастных смен производных

БГЦ, возникших в пределах одного коренного типа леса после стихийных и антропогенных экологических катастроф. Каждый ЭДР БГЦ представлен в лесу конкретным БГЦ («выделом»), являясь реальной формой существования леса, объектом его изучения и лесоводства. Кроме того, целесообразно выделять подтипы ЭДР БГЦ, различающиеся по успешности возобновления главного вида. Например, в пирогенном типе это типы гарей: под пологом леса, гарь-редина, гарь с периферийным обсеменением и т. д.

Коренной (автохтонный) тип леса, в отличие от классификации Ивашкевича – Колесникова, представляет собой не какой-либо один, а множество («пучок») различных по происхождению и видовому составу древостоев типов восстановительно-возрастной динамики ЭДР БГЦ в пределах одного ТЛУ.

Различия основных параметров структуры древостоев и характерных комплексов растений нижнего яруса фитоценозов в доминирующих типах ЭДР БГЦ показаны на четырех стадиях их восстановительной динамики [7].

В целом эколого-генетическая классификация типов леса на основе концепции ЭДР БГЦ – принципиально новое конструктивное хороэкологическое направление развития генетической лесной типологии, адекватное реальным закономерностям многообразной динамики леса во времени и в пространстве. В последнее время целесообразность аналогичных подходов показана и на примере сосновых лесов Карелии [3]. Внедрение предлагаемых принципов классификации лесов в лесоведение, экологию, лесоустройство и лесоводство необходимы как основа для изучения, оценки, прогноза и регулирования динамики лесных БГЦ. На первом этапе достаточно определения в таксационном описании типа и варианта ЭДР БГЦ. В конечном итоге это позволит перейти от эклектической инвентаризации БГЦ (выделов) на уровень их естественно-исторического изучения и целевого управления динамикой лесов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ивашкевич Б.А*. Девственный лес, особенности его строения и развития // Лесн. хоз-во и лесн. пром-ть. 1929. № 10. С. 36–44; № 11. С. 40–47; № 12. С. 41–46.
2. *Колесников Б.П.* Кедровые леса Дальнего Востока. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 261 с.
3. *Крышень А.М*. Эколого-динамическая типология лесов Восточной Фенноскандии // Бореальные леса: состояние, динамика, экосистемные услуги. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. 2017. С. 153–155.
4. *Санников С.Н.* Об экологических рядах возобновления и развития насаждений в пределах типов леса // Лесообразовательные процессы на Урале. Свердловск, 1970. Вып. 67. С. 175–181.
5. *Санников С.Н.* Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
6. *Санников С.Н*. Дивергенция, конвергенция и наследование структуры лесных биогеоценозов // Генетическая типология, динамика и география лесов России. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. С. 56–62.
7. *Санников С.Н.* Эколого-генетическая классификация типов леса на основе экодинамических рядов развития биогеоценозов // Сибирский лесной журнал. 2019. № 1. С. 3–15.
8. *Санников С.Н., Петрова И.В., Санникова Н.С. и др.* Дивергенция биогеоценозов в пределах типов сосновых лесов // Экология. 2017. № 4. С. 282–291.
9. *Сукачев В.Н*. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л.: Гослестехиздат, 1934. 614 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН и при финансовой поддержке комплексных программ УрО РАН (проект № 18-4-4-27).

УДК 58.006:581.543:581.16:634.34:634:51

СЕЗОННОЕ РАЗВИТИЕ И РЕПРОДУКТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ *JUGLANS MANDSHURICA* И *PHELLODENDRON AMURENSE* В ДЕНДРАРИИ ИНСТИТУТА ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА

М.И. СЕДАЕВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (msedaeva@ksc.krasn.ru)

Приведены результаты наблюдений деревьев *Juglans mandshurica* и *Phellodendron amurense* на двух участках дендрария Института леса. Показано, что в условиях города Красноярска растения не обмерзают, формируют семена высокой жизнеспособности (до 100 %) и имеют самосев, тогда как на пригородных участках весенними заморозками повреждаются молодые побеги и листья, цветение редкое, плодоношение не наблюдается.

SEASONAL DEVELOPMENT AND REPRODUCTIVE ABILITY OF *JUGLANS MANDSHURICA* AND *PHELLODENDRON AMURENSE* IN ARBORETUM OF V.N. SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST

M.I. SEDAEVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (msedaeva@ksc.krasn.ru)

The results of *Juglans mandshurica* and *Phellodendron amurense* observations at two sections of the Institute of Forest arboretum are given. It is shown that the plants are not damage by frost, form seeds of high viability (till 100 %) and self-sown plants in city Krasnoyarsk conditions. While at suburban territories spring frosts damage draws and leaves, flowering is rare, fruiting is not observed.

В естественные лесные экосистемы Сибири входит ограниченное число видов древесных растений. Бедность видового состава обусловлена историческими причинами – во время четвертичного оледенения часть видов была оттеснена к западу или к востоку. В настоящее время повысить биоразнообразие можно с помощью интродукции различных, прежде всего широколиственных видов.

Орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim., сем. *Juglandaceae*) и бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr., сем. *Rutaceae*) – типичные представители маньчжурской флоры. Естественно они произрастают в Приморском крае, южной части Амурской области и Хабаровского края, на полуострове Корея и в Северном Китае. Встречаются в составе долинных широколиственных лесов. Отличаются высокой требовательностью к плодородию почвы, ее влажности и аэрации. На родине представляют собой крупные деревья 23–25 (до 26) м высотой и 50–65 (до 100) см в диаметре ствола [3].

Оба вида распространены в культуре очень широко. В Сибири известны со второй половины XIX века. Растения этих видов имеются во всех основных интродукционных пунктах Сибири. В Горно-Алтайске молодые побеги и листья ореха и бархата иногда страдают от поздних весенних заморозков, в Барнауле таких повреждений значительно меньше [7]. В Абакане деревца не повреждаются низкими температурами зимой и в переходные периоды, но страдают от засухи [5]. В Новосибирске, Томске, Иркутске и Улан-Удэ в той или иной степени повреждаются зимой годичные побеги, молодые побеги и листья страдают от поздних весенних заморозков [2]. Во всех указанных пунктах данные виды плодоносят с разной регулярностью.

В Красноярске в дендрарии СибГУ им. М.Ф. Решетнева имеются деревья ореха маньчжурского 30–50-летнего возраста [1]. Здесь они плодоносят ежегодно, за исключением лет, когда распускающиеся листья и цветки повреждаются поздними весенними заморозками. Бархат амурский произрастает в дендрарии СибГУ и в саду

Крутовского. Здесь эти растения хорошо плодоносят, хотя иногда у них подмерзают однолетние побеги [8].

В дендрологической коллекции Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН деревья *J. mandshurica* и *Ph. amurense* произрастают на двух участках. Первый участок – дендрарий на территории экспериментального хозяйства института «Погорельский бор», находящегося в 40 км к северу от Красноярска. Здесь 23 экземпляра ореха и 4 дерева бархата произрастают с 1968–70 гг. Сеянцы были выращены из семян, привезенных из природных местообитаний (Уссурийский заповедник, Амурская лесосеменная станция). Второй участок – дендрарий в красноярском Академгородке, расположенный на высокой террасе р. Енисей. 2-летние сеянцы ореха были привезены из Омска и посажены здесь в 1977 г. Также в 1982 и 1984 г. в дендрарии были высажены сеянцы ореха, выращенные из семян, собранных в Красноярске на Плодово-ягодной станции. Семена бархата амурского были получены из Новосибирска (ЦСБС) в 1978 г. и из Амурской области в 1980 г. Растения бархата обоих образцов были высажены в дендрарии [6]. Всего на втором участке произрастает 67 растений ореха маньчжурского и 5 экземпляров бархата амурского. В возрасте около 50 лет в Академгородке деревья ореха имеют высоту 7–12 м и диаметр 9–17 см, а бархата – 3–6 м в высоту и 3–14 см в диаметре. В «Погорельском бору» деревья ореха меньше: 1–5 м высотой и 2–9 см диаметром, а бархата – больше: 4–7 м и 5–15 см.

С целью изучения сезонного развития данных видов в течение нескольких лет (2004–2008 гг. и 2011–2018 гг.) на обоих участках проводились фенологические наблюдения. При этом использовалась методика, принятая в ботанических садах России [9].

Установлено, что вегетация растений *J. mandshurica* начинается с конца апреля, в начале, середине или конце мая (24.04–23.05) и заканчивается в конце августа (19.08–26.08). Побеги растут с конца мая или начала июня (18.05–3.06) до середины июня или до конца июля (15.06–26.07). Вегетация *Ph. amurense* начинается с конца апреля, в начале или середине мая (27.04–17.05) и продолжается до конца августа или начала сентября (21.08–16.09). Рост побегов происходит с середины, конца мая или с начала июня (24.05–2.06) до середины или конца июня (11.06–1.07).

Следует отметить, что на территории «Погорельского бора» вегетация и рост побегов у обоих видов начинается позже, чем в Академгородке. В отдельные годы в «Погорельском бору» молодые побеги и листья повреждались весенними заморозками, а затем снова отрастали из пазушных почек. В Академгородке заморозки весной значительно реже и слабее. Обмерзания растущих побегов у растений *J. mandshurica* и *Ph. amurense* в Академгородке никогда не отмечалось. Это связано с тем, что в пределах такого крупного мегаполиса, как Красноярск, происходит повышение температуры воздуха. Кроме того, смягчение климата обусловлено близостью акватории р. Енисей и Красноярского водохранилища [4].

Наблюдения показали, что в Академгородке цветение у *J. mandshurica* происходит в конце мая или в начале июня (тычиночных сережек – с 20.05 по 8.06, а пестичных цветков – с 23.05 по 15.06). В «Погорельском бору» в отдельные годы в конце июня (с 20.06 по 25.06) цвели тычиночные сережки, появления пестичных цветков не отмечалось. Цветение растений *Ph. amurense* в Академгородке наблюдалось в конце июня (20.06–29.06). В «Погорельском бору» в 2016 г. было отмечено цветение тычиночных цветков в середине июня (с 12.06 по 22.06), образования плодов не произошло.

В разные годы в дендрарии Академгородка были собраны образцы семян *J. mandshurica* и *Ph. amurense*. Их размеры и масса близки или немного меньше, чем в естественных условиях (табл. 1). Жизнеспособность семян выявлялась с помощью

рентгеновских снимков [10], она оказалась очень высокой. У *J. mandshurica* наблюдается естественное возобновление по всей территории дендрария.

Таким образом, установлено, что в условиях города Красноярска растения *J. mandshurica* и *Ph. amurense* не повреждаются морозом в зимний период и во время возвратных заморозков весной, ежегодно цветут и формируют семена высокой жизнеспособности. Для ореха маньчжурского характерен самосев. На пригородных территориях растения обоих видов повреждаются весенними заморозками, цветут редко и плодов не образуют.

Таблица 1. Показатели семян *Juglans mandshurica* и *Phellodendron amurense* в Академгородке

Показатель	Значение			
	Juglans mandshurica		*Phellodendron amurense*	
	Красноярск	Дальний Восток	Красноярск	Дальний Восток
Длина семени, мм	39,35±0,765 30-53	27–45	4,12±0,057 3,5–5	5
Ширина семени, мм	23,25±0,25 20-27	22–34	2,60±0,055 2–3	2–3
Масса 10 шт. семян, г	56,91±2,070 26-94	60–83	0,10±0,002 0,083–0,13	0,13–0,17
Жизнеспособность, %	100	–	98	–

Примечание. Для Красноярска приведены в числителе среднее значение и его ошибка, в знаменателе – минимальное и максимальное значения признака; для Дальнего Востока приведены крайние значения [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Буторова О.Ф., Похабова Е.А.* Интродукция ореха маньчжурского в дендрарии Сибирского государственного технологического университета // Лесной журнал. 2007. № 4. С. 12–14.
2. *Встовская Т.Н., Коропачинский И.Ю., Киселева Т.И., Горбунов А.Б., Каракулов А.В., Лаптева Н.П.* Интродукция древесных растений в Сибири. Новосибирск, 2017. 716 с.
3. *Деревья* и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. Т. II, IV. М., Л., 1951, 1958.
4. *Климат* Красноярска. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1982. 231 с.
5. *Лиховид Н.И.* Интродукция древесных растений в аридных условиях юга Средней Сибири. Абакан, 2007. 288 с.
6. *Лоскутов Р.И.* Интродукция декоративных древесных растений в южной части Средней Сибири. Красноярск, 1991. С. 55–57.
7. *Лучник З.И.* Интродукция деревьев и кустарников в Алтайском крае. Москва, 1970. С. 133–139.
8. *Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Романова А.Б.* Интродукция растений в дендрарии СибГТУ. Красноярск: СибГТУ, 2000. 194 с.
9. *Методика* фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М.: Наука, 1975. 28 с.
10. *Смирнова Н.Г.* Рентгенографическое изучение семян лиственных древесных растений. М.: Наука, 1978. 243 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ФГБНУ ИЛ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН (проект № 0356-2019-0024).

УДК 57.084.1:674.8

РОСТОСТИМУЛИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОРЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД СИБИРИ

А.В. СЕМЕНОВИЧ, А.А. АНИСКИНА, С.Р. ЛОСКУТОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (semenovich_a@ksc.krasn.ru)

Использование модифицированной коры сосны, насыщенной микроудобрениями, как субстрата и добавление ее в почву в количестве 25, 50, 75 мас. % способствует лучшему росту и развитию тест-растений овса обыкновенного (*Avena sativa*) и фасоли обыкновенной (*Phaséolus vulgáris*) и обеспечивает хорошую интенсивность развития корневой системы по сравнению с использованием почвы в качестве субстрата.

GROWTH STIMULATING ACTIVITY OF THE CONIFERS MODIFIED BARK OF SIBERIA

A.V. SEMENOVICH, A.A. ANISKINA, S.R. LOSKUTOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (semenovich_a@ksc.krasn.ru)

The use of pine modified bark saturated with micronutrients as a substrate and the addition of modified bark to the soil in an amount of 25, 50, 75 wt. % promoted the better growth and development of test plants of oats (*Avena sativa*) and beans (*Phaséolus vulgáris*) and provided a good intensity of root development compared to the use of soil as a substrate.

В настоящее время разработка новых технологий изготовления субстратов (корнеобитаемая зона растений в защищенном грунте), позволяющих повысить урожайность сельскохозяйственных культур, необходимых населению, является актуальной задачей.

Имеются сведения об использовании для изготовления субстратов кородревесных отходов [1]. Недостатком применения необработанной коры является вымывание из нее водорастворимых соединений при поливе растений, что приводит к снижению кислотности субстрата и, как следствие, к снижению выживаемости растений. Предложены различные способы обработки коры: водным раствором мочевины [6], водным раствором гидроортофосфата калия [2], водным раствором хлорида калия [3], компостированием без добавок [8] и с добавками азота, фосфора, калия [5], минеральных удобрений [9].

Вызывает интерес использование химически модифицированной коры в качестве субстрата. Являясь слабокислотным катионообменником [7], модифицированная кора, обогащенная макро- и микроэлементами, может обеспечить пролонгирующее действие по снабжению растений минеральными веществами при поливе растений без превышения допустимой дозы.

Цель исследований – изучение эффективности использования модифицированной коры *Pinus silvestris*, насыщенной макро- и микроэлементами, для выращивания *Avena sativa* и *Phaséolus vulgáris*.

Объектом исследований служила кора сосны обыкновенной. Окорка древесины производилась в Емельяновском районе г. Красноярска. Кору высушивали на воздухе, измельчали, выделяли фракцию 0,5–1,0 мм. Модифицирование коры осуществляли по методу [7]. Модифицированную кору сосны пропитывали комплексным водорастворимым минеральным удобрением (МКС-МУ) в течение суток, отфильтровывали, сушили на воздухе до воздушно-сухого состояния. Содержание питательных веществ, (%): $N_{общий}$ – 16,0; фосфор – 20,6; калий – 27,1; железо – 0,1; бор – 0,02; медь – 0,01; марганец – 0,1; молибден – 0,002; цинк – 0,01.

Испытания проводили в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [4]. Для определения предельного содержания модифицированной коры в субстрате, выше которого происходит подавление роста растений, использовали смеси, содержащие 0, 10, 25, 50, 75, 100 % МКС-МУ. Контроль – «огородная» почва, отобранная на территории д. Минино Емельяновского района. В качестве тест-растений использовали овес (*Avena sativa*), фасоль обыкновенную (*Phaséolus vulgáris*). В течение четырнадцати дней велись наблюдения за проростками по следующим показателям: время появления всходов и их число на каждые сутки; общая всхожесть, длина наземной части всходов (побегов). Оценку ростостимулирующей активности субстратов проводили сравнением длины, массы, содержания влаги у побегов растений и длины, массы их корней. Статистическую обработку прироста проростков проводили при помощи пакета *Microsoft Excel 97 Windows*. Для всех средних величин рассчитывалась стандартная ошибка, результаты исследований были подвергнуты дисперсионному анализу.

Изображение модифицированной коры сосны, насыщенной макро- и микроэлементами, которое было получено с помощью сканирующего электронного микроскопа до смешивания с почвой, приведено на рис. 1.

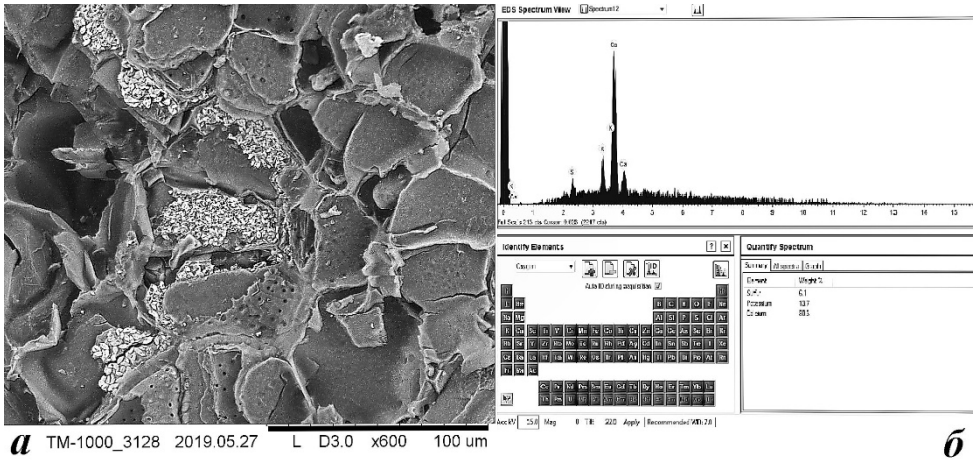


Рис. 1. СЭМ-изображение модифицированной коры сосны, насыщенной макро- и микроэлементами (*а*); энерогодисперсионный спектр минеральных включений (*б*). Светлые области с белыми точками на фото (*а*) – агрегаты, содержащие минеральные включения: S – 6,1, K – 13,7, Ca – 80,3 вес. %

Результаты проведенного исследования показали, что прорастание семян овса и фасоли при выращивании во всех субстратах происходило с различной скоростью, всхожесть достигла 100 %. Максимальные величины длины и массы побегов овса, содержания в них влаги, длины корня и массы корневой системы, а также общей массы, включающей массы наземных частей побегов растений и их корневых систем в пересчете на одно растение достигались при использовании почвенной смеси, содержащей 75 мас. % почвы и 25 мас. % МКС-МУ.

Корневая система фасоли лучше развивалась в субстрате составом 50 мас. % почвы и 50 мас. % МКС-МУ, в этом случае отмечены максимальная длина корня и масса корневой системы. Побеги растений фасоли, произрастающей в этом же субстрате, имели преимущество по содержанию влаги, что подтверждает интенсивность процессов обмена и круговорота веществ в организме растения, а следовательно, и благоприятность экологических условий. Наибольшая длина побегов фасоли – при использовании 90 мас. % почвы и 10 мас. % МКС-МУ, однако корневая система развивалась в этом субстрате слабо. Наибольшей общей массой, включающей

массу наземных частей побегов растений и их корневых систем в пересчете на одно растение, обладала фасоль, выращенная в МКС-МУ (0,317 г) и в субстратах составом 50 мас. % почвы и 50 мас. % МКС-МУ (0,303 г), а также 25 мас. % почвы и 75 мас. % МКС-МУ (0,313 г). Примечательно, что тест-растения, произрастающие в МКС-МУ без добавления почвы, отличаются наибольшей массой корневой системы при относительно небольшой длине корня, а побеги растений содержат большое количество влаги.

Таким образом, использование модифицированной коры сосны, насыщенной микро- и макроэлементами, как субстрата и добавление ее в почву способствует лучшему росту и развитию растений по сравнению с использованием в качестве субстрата почвы. Общая масса растений овса, произрастающих в субстратах с добавлением МКС-МУ, выше до 67,74 %, фасоли – до 90,96 % по сравнению с растениями, произрастающими в почве. Наиболее благоприятные условия для роста растений получены при использовании субстрата с добавлением МКС-МУ в почву в количестве 25, 50, 75 мас. %.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Васянина Е.А., Ширинкина Е.С.* Оценка фитотоксичности кородревесных отходов длительного срока хранения // Химия. Экология. Урбанистика. 2018. 1. С. 55–58.
2. *Веприкова Е.В., Кузнецова С.А., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н.* Получение и свойства фосфорных биокомпозитных удобрений на основе коры березы // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2015. 3 (8). С. 413–421.
3. *Веприкова Е.В., Кузнецова С.А., Чеснокова Н.В., Кузнецова Б.Н.* Изучение вымывания KCl водой из биокомпозитных удобрений на основе коры березы // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2015а. 1 (8). С. 25–34.
4. *ГОСТ* Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.
5. *Девятловская А.Н.* Использование древесной коры в качестве тепличного грунта // Вестник КрасГАУ. 2010. 2. С. 25–27.
6. *Кузнецова С.А., Кузнецов Б.Н., Скурыдина Е.С., Максимов Н.Г., Калачева Г.С., Ульянова О.А., Скворцова Г.П.* Синтез и свойства биокомпозитных удобрений на основе мочевины и коры березы // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2013. 4 (6). С. 380–393.
7. *Семенович А.В.* Сорбционные свойства модифицированной коры *Larix sibirica* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* L.: автореф. дисс. ... канд. хим. наук: 05.21.03. Красноярск: Сиб. гос. технол. ун-т, 2013. 21 с.
8. *Ульянова О.А., Тарабанько В.Е.* Ростостимулирующая активность компостов на основе еловой коры и содержание в них дитерпенов // Вістник ОНУ. 2010. 15 (17). С. 49–54.
9. *Ульянова О.А., Чупрова В.В.* Гумификация коры разных видов деревьев и удобрительных композиций на ее основе // Агрохимия. 2016. 5. С. 11–20.

УДК 630*182.5

СТРУКТУРА И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПРИ ВЫБОРОЧНОМ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИИ

Д.В. СЕМЕНЯКИН, В.В. ИВАНОВ, А.Н. БОРИСОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (denis8880@inbox.ru)

Изучена реакция на выборочную рубку деревьев и древостоев, спелых сосняков разнотравно-зеленомошной группы типов леса. Древостои за счет дополнительного почвенно-светового ресурса увеличили ежегодный прирост в среднем на 2,0–2,5 м^3/га в сравнении с контрольным участком. После рубки формируются более продуктивные древостои, товарная ценность которых будет выше за счет увеличения доли крупной деловой древесины.

THE STRUCTURE AND PRODUCTIVITY OF PINE STANDS IN SELECTIVE FOREST MANAGEMENT

D.A. SEMENYAKIN, V.V. IVANOV, A.N. BORISOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (denis8880@inbox.ru)

The response of trees and forest stands, mature pine stands on the thinning studied. Stands due to additional soil and light resource increased annual growth by an average of 2,0–2,5 m^3/ha in comparison with the control area. More productive stands are formed after thinning, the commercial value stands will be higher due to the increase in number of large business timber.

Основными факторами роста и производительности древостоев являются густота и территориальное размещение деревьев. Хозяйственные мероприятия, направленные на формирование целевых насаждений, в основном связаны с изменением структуры древостоев разными вариантами рубок. Изучение характеристик естественных процессов образования древесного прироста и анализ реакции деревьев и древостоев на внешние воздействия является неотложной задачей [1]. Влиянию разреживания на конечную продуктивность древостоев и их способность восстанавливать запасы древесины, удаленной в результате проведения рубок, посвящено много работ, но эти вопросы по-прежнему остаются актуальными и требуют дальнейших исследований.

С целью изучения реакции деревьев и древостоев, спелых сосняков разнотравно-зеленомошной группы типов леса I–II класса бонитета на выборочную рубку проведены исследования на репрезентативных для Красноярской лесостепи 4 участках с разными вариантами интенсивности рубки по запасу (табл. 1). Для коррекции изменений в ходе роста для всех сравниваемых участков за оцениваемый период в качестве контроля служил незатронутый рубкой древостой.

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоев после рубки

№ участка	1	2	3			4
№ пробной площади	7	5	1	2	4	3
Состав древостоя	10С	10С	10С	10С	10С	10С
Hср, м	28	27,6	26,8	26,3	25	23,1
Dср, см	30	38,6	37,5	37,4	31,7	31,8
Густота, шт./га	528	304	274	219	301	226
Полнота	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,5
Бонитет	I	I	II	I	I	II
Запас, м³/га	389	408	324	241	244	177
* Интенсивность рубки, %	20	29	35	36	35	53

Примечания. * слабая (20 %), умеренная (29 %), умеренно высокая (35–36 %), высокая (53 %).

На участке 1 сосняка разнотравно-зеленомошного через 10 лет после рубки интенсивностью 20 % средний ежегодный радиальный прирост по всему участку в сравнении с периодом до рубки увеличился на 43 %. В сравнении с контрольным участком ежегодный текущий радиальный прирост увеличился на 34 %.

На участке 2 сосняка разнотравно-зеленомошного средний ежегодный радиальный прирост до рубки составлял 1,08 мм. После проведения несплошной рубки интенсивностью 29 % средний ежегодный радиальный прирост увеличился на 43 % в сравнении с периодом до рубки. В сравнении с контролем средний ежегодный радиальный прирост увеличился в 2 раза.

На участке 3 сосняка бруснично-зеленомошного средний ежегодный радиальный прирост до рубки составлял 1,03 мм. После проведения несплошной рубки интенсивностью 35 % средний ежегодный радиальный прирост увеличился на 11 % в сравнении с периодом до рубки и на 70 % в сравнении с контролем.

На участке 4 сосняка бруснично-зеленомошного средний ежегодный радиальный прирост до рубки составлял 0,72 мм. После проведения несплошной рубки интенсивностью 53 % средний ежегодный радиальный прирост увеличился на 79 % в сравнении с периодом до рубки и на 91 % в сравнении с контролем.

Изучение текущего ежегодного прироста по запасу за 10 лет после рубки на первом экспериментальном участке показало, что он составил 73 м³/га. Следовательно, средний ежегодный прирост по запасу равен 7,3 м³/га.

На лесном участке с рубкой интенсивностью 29 % текущий периодический прирост по запасу за последние 5 лет на 1 га составил 35 $м^3$, т. е. средний текущий ежегодный прирост составил 7,0 $м^3$. На лесных участках с рубкой интенсивностью 35 % – от 35 до 39 $м^3$, или около 7,4 $м^3$/год. На лесном участке с интенсивностью рубки 53 % – 39 $м^3$, 7,8 $м^3$/год. Средний текущий ежегодный прирост за последние 5 лет на контроле составил 5,2 м³/га.

Полученные данные свидетельствуют о том, что разреженные выборочной рубкой древостои за счет дополнительного почвенно-светового ресурса увеличили ежегодный прирост в среднем на 2,0–2,5 $м^3$/га в сравнении с контрольным участком.

При сохранении величины текущего ежегодного прироста по запасу после рубки 7,0–7,8 м³/га первоначальный запас дорубочного периода в зависимости от интенсивности первого приема рубки восстановится на первом экспериментальном участке за 13 лет, на втором – за 15 лет, на третьем – за 20 лет и на четвертом – за 25 лет, что и определяет время проведения 2 приема рубки.

Сосновые древостои на экспериментальных участках до рубки имели разную густоту, т. е. разное количество деревьев – носителей прироста. Для сравнительной оценки влияния интенсивности первого приема несплошной рубки на разных участках сосновых древостоев проводился анализ среднего годичного прироста по запасу за последние пять лет из расчета на один кубометр корневого запаса оставленного после рубки древостоя. Анализ полученных данных показал, что для получения наибольшего прироста по запасу оставшейся части соснового древостоя в данных условиях наиболее приемлемы варианты рубки с интенсивностью 35–50 % по запасу и с проведением 2 приема рубки через 25–30 лет.

Реализация потенциала эффективного роста в том или ином возрасте у деревьев зависит от величины доступного ресурса. Для формирования деревьев с устойчивыми темпами роста по диаметру, обладающих хорошо развитыми кронами 2–3 классов Крафта, необходимо, чтобы на каждое дерево приходилась площадь, составляющая 30–40 % от площади свободного роста [2]. В таких древостоях размещение деревьев на занимаемой территории становится более равномерным, ресурсы используются более эффективно, вследствие чего формируются более продуктивные древостои, товарная

ценность которых будет выше за счет увеличения доли крупной деловой древесины. Оптимальные условия для роста необходимо обеспечивать не только на момент рубки, но и на весь период до следующего приема ее проведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузьмичев В.В.* Закономерности динамики древостоев. Новосибирск: Наука, 2013. 207 с.
2. *Борисов А.Н., Иванов В.В., Петренко А.Е.* Пространственная структура и продуктивность сосновых древостоев // Лесоведение. 2019. № 1. С. 7–18.

УДК 630*4

ГРИБЫ РОДА *LOPHODERMIUM* CHEVALL. И ИХ РОЛЬ В ПАТОГЕНЕЗЕ ХВОЙНЫХ

В.А. СЕНАШОВА, И.Е. САФРОНОВА, А.А. АНИСКИНА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (vera0612@mail.ru)

Род сумчатых грибов *Lophodermium* Chevall. включает 145 видов, являющихся как сапротрофами, так и патогенами растений (преимущественно хвойных). На территории Средней Сибири, как и России в целом, наибольшее хозяйственное значение имеет *Lophodermium seditiosum* Minter, Staley & Millar, вызывающий преждевременное отмирание хвои у представителей *Pinus* L. Установлено, что уже на начальной стадии инфекционного процесса (прорастание аскоспор и формирование некротических участков на хвое) происходит изменение в микробном сообществе филлосферы и ризопланы, что является следствием изменения компонентного состава летучих соединений, выделяемых растением.

THE FUNGI OF GENERA *LOPHODERMIUM* CHEVALL AND THEIR ROLE IN PATHOGENESIS OF CONIFERS

V.A. SENASHOVA, I.Ye. SAFRONOVA, A.A. ANISKINA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (vera0612@mail.ru)

Lophodermium is a genus of fungi within the family Rhytismataceae. The genus contains 145 species and it infects many different plant families but with a notable concentration in the family Pinaceae. On the territory of Middle Siberia, as well as Russia as a whole, *Lophodermium seditiosum* Minter, Staley & Millar has the greatest economic significance, causing needlecast disease among genera *Pinus* L. It was found that at an early stage of infection process (ascospores germination and the formations of necrotic areas on needles) there is a change in the microbial communities of fillo- and rizoplana of host plants. This phenomenon is a consequence of changes of volatile substances compounds, produced by the plants.

Род сумчатых грибов *Lophodermium* Chevall. семейства Rhytismataceae включает 145 видов [12], являющихся как сапротрофами, так и патогенами растений (преимущественно хвойных), которые вызывают преждевременное отмирание листового аппарата. В табл. 1 приведен список представителей указанного рода, встречающихся на территории России [2, 3, 4, 6, 9].

В США родственные виды грибов, способных поражать хвою сосен (Lophodermium needle cast), объединили в комплекс «*Lophodermium pinastri*», включающий *L. pinastri, L. pini-exelsae, L. conigenum, L. seditious* [11, 16]. При этом наиболее опасным считается *L. seditious,* способный вызвать заражение и гибель хвои за один вегетационный сезон [15].

В русскоязычной литературе преждевременное осыпание хвои именуется «шютте» (от немецкого слова schutten — осыпаться, опадать). На территории Средней Сибири, как и России, наиболее экономически значимым является *L. seditiosum*, вызывающий эпифитотии в лесных питомниках и чистых культурах. Самосев и подрост *Pinus* spp. в природных лесах также поражается этим патогеном. В северных районах Красноярского края его распространенность достигает 50 % и выше. Наибольшую опасность *L. seditiosum* представляет для *Pinus* spp. в первые годы жизни, вероятность выживания зараженного сеянца/самосева при сохранности верхушечной почки составляет 30–50 % [1]. По данным Н.А. Кузьминой с соавторами [13], за период с 1997 по 2013 г. на территории Красноярского края зафиксировано 130 очагов заболеваний сосны, вызванных данным патогеном.

Таблица 1. Представители рода *Lophodermium* Chevall., обнаруженные на хвойных, произрастающих на территории России

Вид гриба*	Растение-хозяин								
	Pinus sylvestris L.	*Pinus sibirica* Du Tour	*Pinus pumila* (Pall.) Regel	*Pinus strobus* L.	*Picea abies* (L.) H.Karst	*Picea mariana* Mill., Britton	*Picea obovata* Ledeb.	*Juniperus communis* L.	*Juniperus sabina* L.
Lophodermium seditiosum Minter, Staley & Millar	+	+							
Lophodermium pinastri (Schrad.) Chevall	+	+							
Lophodermium conigenum (Brunaud) Hilitzer	+	+	+						
Lophodermium maximum B.Z. He & D.Q. Yang		+							
Lophodermium parasiticum B.Z. He & D.Q. Yang		+							
Lophodermium pini-excelsae S. Ahmad		+	+						
Lophodermium pini-pumilae Sawada			+						
Lophodermium pini-sibiricae C.L. Hou & S.Q. Liu		+	+						
Lophodermium nitens Darker				+					
Lophodermium piceae (Fuckel) Höhn**					+	+	+		
Lophodermium juniperinum (Fr.) De Not								+	+

Примечания. * название приведено по Index Fungorum; ** несмотря на то, что на сайте http://www.indexfungorum.org. *L. picea и L. abietis* представлены все еще как самостоятельные виды, рядом исследователей установлена их идентичность [9, 14].

L. pinastri преимущественно развивается в тканях хвои, находящейся на стадии, близкой к отмиранию либо уже мертвой (в подстилке), поэтому в настоящее время присутствие *L. pinastri* расценивается как показатель ослабления хвои либо растения в целом [5, 7]. В условиях России грибы *L. conigenum, L. maximum, L. pini-excelsae, L. pini-sibiricae, L. pini-pumilae* по своим патогенным свойствам близки к *L. pinastri* и ведут, по-видимому, преимущественно сапротрофный образ жизни.

В европейской части России достаточно опасным патогеном *Pinus strobus* является *L. nitens,* вызывающий шютте сосны веймутовой. Эта пятихвойная сосна достаточно широко распространена в лесных культурах, в парковых посадках и лесопарках начиная с южной подзоны тайги до лесостепи включительно [4]. *L. nitens,* вызывая преждевременную дефолиацию деревьев, делает их более подверженными другим стрессовым факторам, что ведет к значительному снижению рекреационных функций зеленых зон.

L. piceae поражает хвою *Picea* spp, вызывая низинное шютте ели. Название заболевания в русскоязычной литературе связано с тем, что поражается, как правило, только нижний ярус кроны. На территории Красноярского края низинное шютте обнаружено нами в лесах таежной зоны и горно-черневого района. Также данный патоген встречается в городских посадках *Picea* A. Dietr.

L. juniperinum вызывает обыкновенное шютте можжевельника. Интересно, что апотеции патогена, развивающегося в условиях Средней Сибири, имеют меньшие размеры [6] по сравнению с таковыми в европейской части России [10].

Жизнедеятельность любого патогена всегда вызывает патологические изменения в тканях и живых клетках пораженного растения и тем самым опосредованно влияет на

процесс формирования эпифитного микробного комплекса. Представители рода *Lophodermium,* вызывающие патологический процесс у хвойных, относятся к факультативным сапротрофам. При проведении эксперимента по заражению сеянцев сосны *L. seditious* нами установлено, что на начальной стадии инфекционного процесса (прорастание аскоспор и формирование некротических участков на хвое) в эпифитном сообществе сосны доминируют дрожжевые формы грибов (до 89 %), в контрольных вариантах преобладают неспоровые бактерии. Интересно отметить достоверное снижение численности микроорганизмов в вариантах с заражением по сравнению с контрольным, так как в наших ранних исследованиях было показано, что на более поздних стадиях повреждения филлосферы численность микроорганизмов возрастает [8].

Суммарная численность микроорганизмов в образцах ризосферной почвы и на поверхности корней (контрольные варианты) достоверно выше таковой в опытных образцах.

При этом доминирующей группой в ризосферной почве из-под сеянцев без признаков заражения являются прототрофы (использующие неорганические формы азота, в частности, соли аммония). В опытных образцах преобладают олигонитрофильные микроорганизмы.

Отмечено увеличение количества летучих компонентов, выделяемых пораженной филлосферой, и уменьшение числа таковых, выделяемых корнями зараженных сеянцев. При этом содержание α-пинена в летучей фракции больной хвои снижено на 24 % по сравнению со здоровой, а α-кариофиллена – на 6 %. Наблюдается увеличение доли некоторых терпенов при инфекционном процессе: так, содержание 3-карена увеличилось в 2,3 раза по сравнению с контрольными значениями. Также на фоне изменения компонентного состава летучих соединений установлено повышение фитонцидной активности листовой и корневой систем растений с признаками заболеваний по сравнению с экземплярами без признаков повреждений.

Таким образом, опираясь на полученные результаты, мы пришли к выводу, что изменения, наблюдающиеся у растения-хозяина на ранней стадии развития факультативного сапротрофа, соответствуют адаптационному синдрому Селье: активации физиологических процессов на раннем этапе неблагоприятного воздействия, сменяющейся истощением организма, если нагрузка продолжается.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ванин С.И.* Лесная фитопатология. 4-е изд., перераб. и доп. М.–Л.: Гослесбумиздат, 1955. 416 с.
2. *Васильева Л.Н., Морозова Т.И.* Сумчатые грибы Сибири II. Виды рода *Lophodermium* на *Pinus* spp. // Микология и фитопатология. 2004. 38 (5). С. 42–47.
3. *Грибы* и насекомые – консорты лесообразующих древесных пород Карелии / отв. ред. А.В. Полевой. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 216 с.
4. *Жуков А.М., Гниненко Ю.И., Жуков П.Д.* Опасные малоизученные болезни хвойных пород в лесах России: изд. 2-е, испр. и доп. Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. 128 с.
5. *Крутов В.И.* Грибные болезни молодняков хвойных пород. М.: ВНИИЦлесресурс, 1994. 44 с.
6. *Сенашова В.А.* Фитопатогенные микромицеты филлосферы хвойных насаждений Средней Сибири; Рос. акад. наук Сиб. отд-ние, Ин-т леса им. В. Н. Сукачева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 103 с.
7. *Сенашова В.А.* Болезни хвои, вызванные фитопатогенными грибами, в Средней Сибири // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. 200. С. 275–284.
8. *Сенашова В.А., Громовых Т.И., Сорокин Н.Д.* Эпифитная микрофлора здоровой и пораженной хвои древесных пород Средней Сибири // Лесоведение. 2012. 4. С. 24–30.

9. *Соколова Э.С., Гордиенко П.В., Титова В.В.* Низинное шютте ели [*Lophodermium piceae* (Fuckel) v. Höhn. (= L. abietis Rostr.)] // Лесной вестник. 2008. С. 100–103.
10. *Соколова Э.С.* Проблемы с хвоей (шютте хвойных пород) // Живой лес. 2009. 1. С. 28–29.
11. *Diwani S.A., Millar C.S.* Infection processes of the three *Lophodermium* species on *Pinus sylvestris* Lin // Recent Research on conifer diseases Conference Proceedings, USA, 1986, Jan. 22–27.
12. *Kirk P.M., Cannon P.F., Minter D.W. & Stalpers J. A.* Dictionary of the Fungi. 10th ed. Wallingford: CABI, 2008. 393 p.
13. *Kuz'mina N.A., Senashova V.A., Kuz'min S.R.* Distribution of *Lophodermium Needle* Cast agents in Scots Pine Stands in Middle Siberia // Contemporary Problems of Ecology. 2015. 8 (7): 909–915.
14. *Osorio M., Stephan B.R.* Morphological studies of *Lophodermium piceae* (Fuckel) v. Hoehnel on Norway spruce needles // European Journal of Forest Pathology. 1991. 21: 389–403.
15. *Singlair W.A., Lyon H.H.* Diseases of trees and shrubs. New York: Cornell university Press, Sage House, 2005. 660 p.
16. *Smith R.S., Scharpf R.F.* Deseases of Pacicfic coast conifers // USDA Forest Service, 1993. 133 p.

УДК 630*114.351

ЗАПАСЫ БИОМАССЫ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И ПОДСТИЛКИ В БИОГЕОЦЕНОЗАХ ПОДЗОНЫ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЭВЕНКИИ

О.В. СЕРГЕЕВА, Л.В. МУХОРТОВА, Л.В. КРИВОБОКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (sergeeva.okv@gmail.com)

Рассматриваются особенности распределения запасов биомассы живого напочвенного покрова и подстилки в лесных экосистемах Центральной Эвенкии в зависимости от их положения в рельефе. Показано, что наибольшие запасы характерны для пониженных элементов рельефа и склонов северной экспозиции, где неблагоприятный гидротермический режим замедляет скорость разложения растительных остатков и способствует накоплению лесной подстилки.

STOCKS OF LIVING GROUND COVER BIOMASS AND LITTER IN THE NORTHERN BOREAL SUBZONE ECOSYSTEMS OF EVENKIYA

O.V. SERGEEVA, L.V. MUKHORTOVA, L.V. KRIVOBOKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (sergeeva.okv@gmail.com)

Peculiarities of distribution of living ground cover biomass and litter stocks in the forest ecosystems of Central Evenkiya depending on relief are considered. It is shown that the highest stocks occur in the lowlands and on the northern slopes where adverse hydrothermal regime retards the rate of plant residues' decomposition and contributes to forest litter accumulation.

Растительность подчиненных ярусов и подстилка играют важную роль не только в аккумуляции органического вещества в лесных биогеоценозах, но и в круговороте веществ в криолитозоне Средней Сибири. Фитомасса живого напочвенного покрова в этих условиях почти соизмерима с общей фитомассой древостоев [1, 2]. Именно его опад и отпад наряду с отмершими корнями составляют значительную часть мортмассы, поступающей в почву. Перечисленные компоненты вовлекаются в биологический круговорот и служат основным источником элементов минерального питания растений [2]. Тем не менее, изучению запасов живого напочвенного покрова, подлеска и подстилки как важнейших компонентов бореальных лесов, особенно в криолитозоне, пока не уделяется должного внимания, хотя эти данные чрезвычайно важны, в том числе для определения пула биогенных элементов в лесных экосистемах высоких широт [1, 2].

Цель настоящего исследования – установить характер распределения запасов биомассы живого напочвенного покрова и подстилки в биогеоценозах северной тайги Центральной Эвенкии в зависимости от рельефа и типа сообщества.

Район исследований расположен в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты в подзоне северной тайги на территории Эвенкийского муниципального района Красноярского края (бассейн р. Нижняя Тунгуска, 64° с. ш., 100° в. д.). Среднегодовая температура составляет 9,2 °С. Среднегодовая сумма осадков – 300–350 мм, распределение их по сезонам года сравнительно равномерное. Продолжительность вегетационного периода – 70–80 дней [3].

В связи с отчетливо выраженным макро- и мезорельефом, определяющим неравномерное распределение солнечной радиации и осадков, образцы отбирали в нескольких точках склонов разной экспозиции: в низине; в нижней, средней и верхней частях склонов северной и южной экспозиции и на вершине сопок.

В рассматриваемых элементах рельефа представлены следующие фитоценозы. Лиственничники багульниково-хамедафно-сфагновые заболоченных днищ падей и речных террас развиваются на криоземах, мерзлота залегает на глубине 20 см под мощной оторфованной подстилкой. Лиственничники бруснично-зеленомошные на

южных склонах – на средне- и тяжелосуглинистых подбурах иллювиально-железистых и иллювиально-гумусовых. Лиственничники багульниково-зеленомошные северных склонов развиваются на средних и тяжелых суглинках (подбуры и криоземы грубогумусированные), каменистых, с мерзлотой на глубине 30–40 см. Березняки голубично-зеленомошно-лишайниковые вершин сопок всегда с примесью лиственницы, иногда ели, на тяжелосуглинистых подбурах, каменистых, с мощностью профиля до 60 см.

Все пробные площади были заложены в спелых и приспевающих насаждениях возрастом не менее 70–120 лет, не подвергавшихся воздействию пожаров последние 50 лет. Образцы живого напочвенного покрова (ЖНП) и подстилки отбирали случайным методом в 5–10 повторностях с помощью шаблона диаметром 20 см. Внутри учетной площадки срезали кустарнички, травянистые растения, живую часть мхов и лишайники. Подстилку отбирали на всю глубину, до минерального почвенного горизонта. В камеральных условиях образцы высушивали до воздушно-сухого состояния. Образцы ЖНП распределяли по биоморфам: кустарнички, мхи, лишайники и травы, не подразделяя на виды. Образцы подстилки разбирали на фракции: 1) мертвые корни (древесные, кустарниковые); 2) морфологически хорошо сохранившиеся остатки опада (хвоя, листья, кора, шишки, остатки мхов, ветошь трав и т. д.), в сумме составляющие AOL; 3) растительные остатки, остающиеся на сите с диаметром отверстий 1 мм после отбора корней и компонентов AOL (AOF); 4) растительные остатки, не сохранившие анатомического строения и прошедшие через сито с диаметром отверстий 1 мм (AOH) [4]. Все отобранные фракции взвешивали с последующим пересчетом на площадь.

Наибольшие запасы биомассы ЖНП приходятся на участки, расположенные в низине и на северном склоне (914 г/м^2), наименьшие – на участки, расположенные на вершине (490±41 г/м^2). Южный склон по запасам биомассы ЖНП занимает промежуточное положение (670±57 г/м^2). В пределах северного склона общий запас биомассы живого напочвенного покрова увеличивается почти в 1,5 раза при движении сверху вниз. Для южного склона такой зависимости не наблюдается.

Основная доля в структуре живого напочвенного покрова приходится на мхи (49,2–71,9 %). Самый высокий запас биомассы мхов характерен для низины (602±56 г/м^2). Меньшие запасы наблюдаются на северном склоне (505±52 г/м^2). Вершина и южный склон по данному параметру сопоставимы (344–353 г/м^2).

Вторым компонентом, вносящим значительный вклад в общий запас ЖНП, являются кустарнички (от 18,0 % до 41,8 %). Наименьший запас биомассы кустарничков наблюдается на вершине – 89±15 г/м^2. На северном, южном склоне и в низине эти величины сопоставимы (238–269 г/м^2).

Запасы подстилки широко варьируют в пределах рассматриваемых участков. Самые высокие запасы характерны для низины (5578±283 г/м^2), что обусловлено гидротермическим режимом (значительное постоянное увлажнение, близкий уровень залегания многолетней мерзлоты – примерно на 20 см минерального слоя почвы) и, соответственно, сформировавшимся в этих условиях составом живого напочвенного покрова (значительную долю составляют трудно подвергающиеся разложению сфагновые мхи). Между северным и южным склоном запасы подстилки отличаются почти в два раза (4619±658 г/м^2 и 2320±186 г/м^2 соответственно). Основная причина заключается в том, что на склон северной экспозиции поступает меньшее количество солнечной радиации, соответственно, мерзлота залегает ближе к поверхности, почвы оттаивают медленнее и характеризуются большим увлажнением, что в совокупности значительно замедляет разложение подстилки. На вершине запасы подстилки близки по величине к запасам на южном склоне – 2407±225 г/м^2. Сравнительно низкие запасы здесь

обусловлены в том числе отличием типа леса – вместо характерных для данного региона лиственничников на вершинах сопок произрастают березняки голубично-зеленомошно-лишайниковые.

Если рассматривать соотношение морфологически хорошо сохранившихся остатков опада (AOL), ферментированных (AOF) и гумифицированных (AOH) растительных остатков в составе подстилки изучаемых пробных площадей, то основной вклад вносит фракция AOF – ее доля незначительно варьирует между рассматриваемыми участками и составляет 63,8–67,7 %. На долю гумифицированного материала приходится в среднем от 20,2 до 29,6 %, при этом наибольшая величина характерна для пробных площадей, расположенных в низине. Доля свежего опада относительно остальных фракций невелика и варьирует от 5,7 до 13,7 %.

Таким образом, в условиях северной тайги наибольшие запасы биомассы живого напочвенного покрова и подстилки характерны для холодных переувлажненных условий пониженных элементов рельефа и склонов северной экспозиции. Основной вклад в величину биомассы живого напочвенного покрова вносят мхи. Фракционный состав подстилки преимущественно представлен ферментированными растительными остатками.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Прокушкин А.С., Масягина О.В.* Биомасса напочвенного покрова и подлеска в лиственничных лесах криолитозоны Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 2006. 2. С. 131–139.
2. *Прокушкин С.Г., Прокушкин А.С., Сорокин Н.Д.* Интенсивность разложения отдельных компонентов фитодетрита в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири // Известия РАН. Сер. биологическая. 2014. 1. С. 76–85.
3. *Средняя* Сибирь / под ред. И.П. Герасимова. М.: Наука, 1964. 480 с.
4. *Титлянова А.А., Шибарева С.В.* Подстилки в лесных и травяных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2012. 135 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант № 18-04-01068-А).

УДК: 581.14.522.5(470.21)

СОПРЯЖЕННОСТЬ ФЕНОРИТМОВ РАСТЕНИЙ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В УСЛОВИЯХ ЗАПОЛЯРЬЯ

Л.Н. СЕРЕДА[1, 2]

[1] Полярно-альпийский ботанический сад-институт, Апатиты, Россия
[2] Лаборатория биомедицинских технологий Арктики ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Апатиты, Россия (sundukpandory87@mail.ru)

Статья посвящена изучению синхронизации ритмов роста и развития растений на уровне растительных сообществ под действием промышленного загрязнения. Показано, что координация фенологических ритмов растений в сообществе подпадает под умеренное загрязнение и возрастает при высоких концентрациях тяжелых металлов.

SYNCHRONIZATION OF PLANT COMMUNITIES GROWTH AND DEVELOPMENT RHYTHMS UNDER INDUSTRIAL POLLUTION IMPACT

L.N. SEREDA[1, 2]

[1] Polar Alpine Botanical Garden & Institute, Apatity, Russia
[2] Laboratory of biomedical technologies of the Arctic of the Kola Sci. Centre, Apatity, Russia (sundukpandory87@mail.ru)

The article is devoted to study of plant growth and development rhythms synchronization at the level of plant communities by industrial pollution. It is shown that the coordination of plant phenological rhythms within community falls under moderate pollution, and increases at high concentrations of heavy metals.

Известно, что в константных условиях фенoритмы растений, составляющих одно сообщество, строго согласованы. Нарушение их координации при действии неблагоприятных факторов является одной из ранних реакций сообщества, в дальнейшем приводящей к снижению его целостности [2]. В связи с этим представляет интерес десинхронизирующее действие одного из наиболее значимых по своим физиологическим последствиям промышленного загрязнения.

Объектами работы служили представители сосудистых растений различных жизненных форм: древесной (*Betula pubescens* Ehrh.), кустарничковой (*Empetrum hermaphroditum* Hager, *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L.), травянистой (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), произрастающие вдоль федеральной трассы Санкт-Петербург – Мурманск на 1258–1230 км от Санкт-Петербурга – соответственно, на 5–29 км удалении от одного из основных источников промышленного загрязнения Мурманской области, ОАО «Североникель» (г. Мончегорск). Фенологические наблюдения, их обработку и оценку промышленного загрязнения проводили, как описано ранее [3]. При обсуждении использовались суммы усредненной продолжительности всех фенофаз у всех исследуемых растений для конкретной опытной площадки по всем 6 годам наблюдений (t_p) вместе с величинами ошибок ($m_M(t_p)$) соответственно.

Сходство форм полученных кривых проводилось по величинам хемминговых расстояний [1] между их отдельными участками.

По результатам оценки загрязнения почв экспериментальных площадок было установлено, что максимальное содержание в них меди и никеля наблюдалось на 11-м км к югу от «Североникеля», а минимальное – в 24-30 км от него.

На рис. 1 показаны зависимости t_p и $m_M(t_p)$ от расстояния до ОАО «Североникель» в километрах.

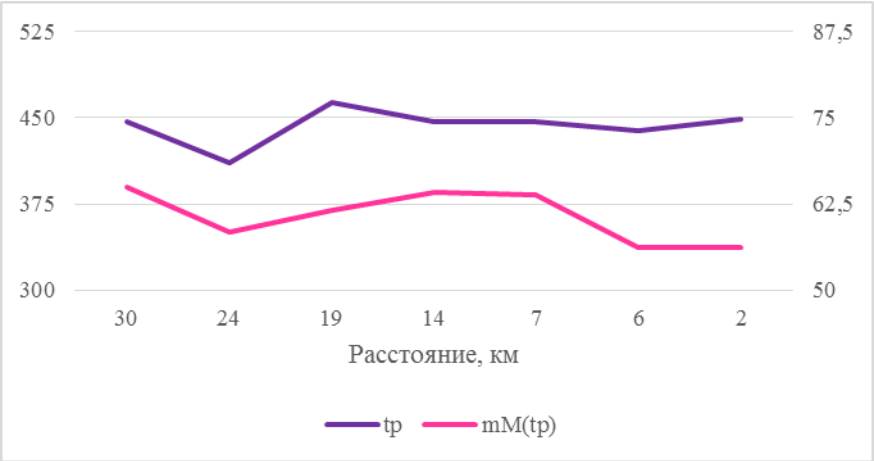


Рис. 1. Изменчивость величин t_p и $m_M(t_p)$ в градиенте техногенного загрязнения

Как видно, при средних уровнях загрязнения среды тяжелыми металлами наблюдалось снижение согласованности феноритмов отдельных растений, составляющих растительное сообщество, при увеличении продолжительности фенофаз в целом (19–7 км от источника загрязнения). Более высокие концентрации увеличивали согласованность феноритмов при постоянной высокой продолжительности фенофаз. Можно отметить сходство кривых пространственной изменчивости исследуемых показателей на дистанции 30–19 км от источника загрязнения, которое нарушается по мере дальнейшего к нему приближения. Это подтверждается результатами вычисления хеммингговых расстояний между анализируемыми кривыми и их отдельными участками (табл. 1).

Таблица 1. Величины хеммингговых расстояний для t_p, $m_M(t_p)$ в целом и для диапазонов 30–4, 30–19 и 19–4 км

Участки, км	30–2	30–19	19–7	7–2
$t_p/m_M(t_p)$	2	0	1	1
t_p/Ni	3	0	2	1
t_p/Cu	3	0	2	1

Эти данные свидетельствуют о том, что при увеличении содержания в почве тяжелых металлов продолжительность фенофаз отдельных составляющих растительного сообщества увеличивается. Согласованность их феноритмов при умеренном загрязнении падает, а при более высоких концентрациях возрастает.

Полученные результаты расширяют существующие представления о биоритмологических основах адаптации живых систем к изменяющимся условиям внешней среды и могут использоваться в дальнейшем при формировании искусственных фитоценозов в зонах техногенного воздействия на основе растений, легко изменяющих продолжительность различных фенофаз.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Быховский М.* Ричард Хэмминг и начало теории кодирования // PC Week. 2002. № 21. С. 29.
2. *Жиров В.К, Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаитбаев А.Х.* Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Кольском Севере. Полярно-альп. ботан. сад-ин-т КНЦ РАН. М.: Наука, 2007. 166 с.
3. *Середа Л.Н., Жиров В.К., Мартынов Е.В.* Синхронизация феноритмов растений на уровне сообществ при действии естественных и антропогенных факторов внешней среды // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017: сб. ст. по матер. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017». С. 121–1219.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЭКОСИСТЕМАХ АРКТИЧЕСКОЙ ТУНДРЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ПОЛОСЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ

Н.В. СИДЕНКО, А.В. ПАНОВ

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (institute_forest@ksc.krasn.ru)

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF METEOROLOGICAL CONDITIONS OVER ECOSYSTEMS OF THE ARCTIC TUNDRA IN COASTAL AREA CENTRAL SIBERIA

N.V. SIDENKO, A.V. PANOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (institute_forest@ksc.krasn.ru)

The retrospective analysis of climatic parameters and properties of atmospheric circulation in the coastal area of Arctic Ocean in Central Siberia was performed based on the 5 meteorological stations of Northern Department of Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. The features and mechanisms of atmospheric circulation in study region were studied. Current patterns and trends in climatic parameters over the period of instrumental observations were analyzed.

В данной исследовательской работе представлен ретроспективный анализ метеорологических условий арктических экосистем Центральной Сибири в прибрежной зоне Северного Ледовитого океана (СЛО). Данное исследование сопряжено с плановыми измерениями концентраций парниковых газов (CO_2/CH_4/H_2O) в атмосфере прибрежной зоны СЛО посредством высокоточного мониторинга на арктической станции интеграционных наблюдений DIAMIS, расположенной в г. п. Диксон (73°33′ с. ш., 80°34′ в. д.), и базируется на калькуляции значений метеорологических элементов, полученных в ходе непрерывных инструментальных наблюдений для 5 метеорологических станций (рис. 1) Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Северное УГМС РФ). В частности, нами были рассмотрены многолетние (1934–2018 гг.) показатели температуры воздуха и количества атмосферных осадков, которые являются ключевыми параметрами, контролирующими бюджет углерода на территории серверной оконечности континентальной Сибири (69–73° с. ш., 66–82° в. д.). Также проанализированы показатели относительной влажности, атмосферного давления, направления и скорости ветра, которые были получены в ходе долгосрочных метеорологических наблюдений (2005–2018 гг.) на станциях, действующих в районе исследований. Полученные значения выражены в разрешении среднесуточных интервалов для всех периодов наблюдений. Архивные базы данных были получены из доступных электронных ресурсов (www.noaa.gov, www.rp5.ru).



Индекс	Наименование	Координаты		Разряд
20674	Остров Диксон	73°30'	80°24'	ОГМС
20667	им. М.В. Попова	73°19'	70°30'	МГ-II
23032	Марресале	69°42'	66°48'	МГ-II
20871	Сопочная Карга	71°52'	82°42'	МГ-II
20967	Сеяха	70°10'	72°30'	М-II

Рис. 1. Станции Северного УГМС

Установлено, что среднегодовая температура воздуха в районе исследования составляет -9,47 °С при климатической норме (1961–1990 гг.) -10,4 °С (рис. 2). Соответственно, разница приведенных выше показателей, составляющая 0,95 °С, указывает на рост среднегодовых температур. Температура июля составляет +7,51 °С, а средняя температура января колеблется в районе -23,73 °С. Однако в северной части исследуемого района наиболее высокие и наиболее низкие температуры воздуха наблюдаются не в центральные зимние и летние месяцы, а на месяц позже. Самой холодной точкой является о. Диксон: -10,95 °С. Количество атмосферных осадков напрямую связано с циклонической деятельностью в районе исследования. Климатическая норма (1961–1990 гг.) составила 300,5 мм, что примерно на 7 % превышает среднюю величину атмосферных осадков. Несмотря на это, наблюдается рост суммарного количества атмосферных осадков (рис. 3).

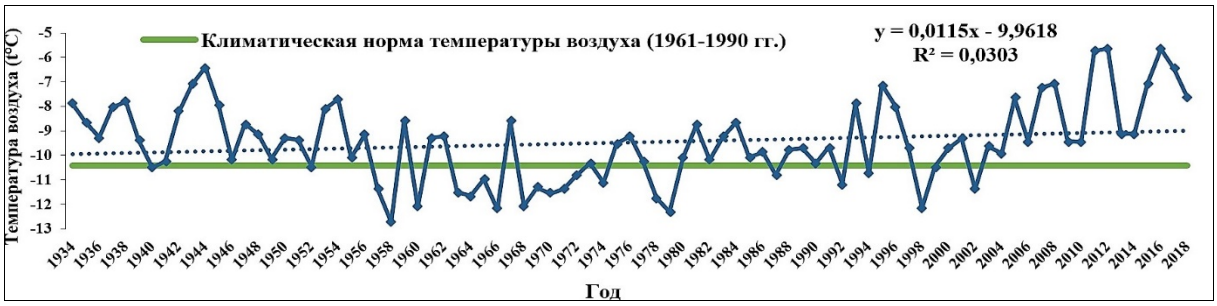


Рис. 2. Температура воздуха



Рис. 3. Атмосферные осадки

Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет 282,5 мм с неравномерным распределением по сезонам. Максимум осадков наблюдается с июня по октябрь, 149 мм, что в процентном отношении составляет 53 % от общего количества осадков. Минимум приходится на период с февраля по май, 65,3 мм. По количеству атмосферных явлений в районе исследований наблюдается преобладание зимних форм осадков. Так, в среднем из 187 дней с атмосферными осадками 130 дней составляют снегопады, а на жидкие формы осадков приходится 57 дней. Наибольшее количество атмосферных осадков наблюдается на станциях Диксон – 336,9 мм, Сеяха – 318,9 мм.

Атмосферное давление воздуха максимальных значений достигает в период с ноября по март – 1010,5 гПа, когда на указанную территорию оказывает влияние господствующий над континентальной Сибирью Азиатский максимум. Минимальные значения отмечаются в летне-осенний период – 1006,9 гПа. Среднегодовой показатель составляет 1008,9 гПа. В целом данная величина в районе исследования близка к показателю уровня моря – 1013,25 гПа, или 760 мм рт. ст., что объясняется прибрежным положением станций наблюдений. Показатели относительной влажности воздуха высоки, что связано с полярным морским типом климата. Средняя величина

составляет 86,2 %, с явным уменьшением от западной к восточной части исследуемой территории, что обусловлено влиянием воздушных масс, приносимых с Атлантики. Максимальные величины прослеживаются в два периода наблюдений. Первый максимум приходится на начало теплого сезона (май – июнь) – 88,9 %, с максимальными значениями на станции им. М.В. Попова – 91,3 %. Второй пик показателей влажности воздуха приходится на осенний период – 89,5 %. Минимум 81,9 % отмечается в феврале, когда над континентальной Сибирью господствует антициклон. Преобладающее направление ветра (рис. 4) южное, юго-восточное и северо-восточное, что обусловлено влиянием преобладающих воздушных масс в регионе, а также спецификой ландшафтов и характерных для них ветров. Скорость ветра в районе исследований составляет 5,9 м/с. В осенне-зимний период преобладают ветры южных румбов. Скорости ветра составляют 6–8 м/с. В весенний период преобладают ветры неустойчивых направлений. В теплый период на всей территории наблюдения преобладают ветры северных направлений (рис. 4). Скорость ветра составляет 5–7 м/с.

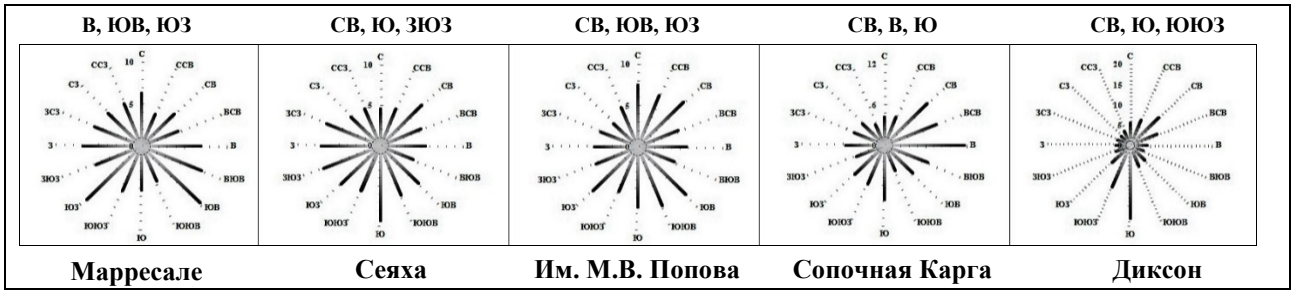


Рис. 4. Розы ветров

Полученные инструментальные данные характеризуют состояние атмосферы и происходящих в ней процессов и позволяют оценить структурные закономерности метеорологических условий в районе исследований. Длительный анализ синоптических флуктуаций климата и окружающей среды арктической зоны в дальнейшем позволит выявить отклик данных условий на изменения концентраций CO_2 и CH_4 в атмосфере. Также результаты данного исследования могут быть использованы для верификации модельных расчетов климатических изменений в Арктическом регионе.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа была выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты № 18-05-00235 и № 18-45-243003.

УДК 630*181.28:581.824.1:581.824.2

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ЛЕСОВ Г. КРАСНОЯРСКА

Л.Н. СКРИПАЛЬЩИКОВА[1], В.В. СТАСОВА[1], Е.В. БАЖИНА[1], А.П. БАРЧЕНКОВ[1], Т.В. ПОНОМАРЕВА[1], И.А. ГОНЧАРОВА[1], А.С. ШУШПАНОВ[1], И.А. ПЕТРОВ[1], Е.В. ФЕДОТОВА[1], А.И. ТАТАРИНЦЕВ[2], А.В. БЕЛЯНИН[3], И.В. ФОМИЧЕВ[3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (lara@ksc.krasn.ru, vistasova@mail.ru, bashkova_t@mail.ru, genetics@ksc.krasn.ru, iagoncharova007@mail.ru, elfed@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru, shushpanov.as@ksc.krasn.ru, petrovilsoran@gmail.com)
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (lespat@mail.ru)
[3] АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод», Красноярск, Россия (Aleksandr.Belyanin@rusal.com, Igor.Fomichev@rusal.com)

Приведены результаты исследований за 2016–2018 гг. экологического состояния пригородных нарушенных и фоновых сосновых и березовых лесов г. Красноярска. Установлено, что в настоящее время в исследуемых лесных экосистемах наблюдаются покомпонентные процессы адаптации к современным уровням антропогенного воздействия.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE CURRENT ECOLOGICAL STATE OF KRASNOYARSK SUBURBAN FORESTS

L.N. SKRYPALSCHIKOVA[1], V.V. STASOVA[1], E.V. BAZHINA[1], A.P. BARCHENKOV[1], T.V. PONOMAREVA[1], I.A. GONCHAROVA[1], A.S. SHUSHPANOV[1], I.A. PETROV[1], E.V. FEDOTOVA[1], A.I. TATARINTSEV[2], A.V. BELYANIN[3], I.V. FOMICHEV[3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (lara@ksc.krasn.ru, vistasova@mail.ru, bashkova_t@mail.ru, genetics@ksc.krasn.ru, iagoncharova007@mail.ru, elfed@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru, shushpanov.as@ksc.krasn.ru, petrovilsoran@gmail.com)
[2] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia (lespat@mail.ru)
[3] RUSAL Krasnoyarsk Aluminum Plant (Aleksandr.Belyanin@rusal.com, Igor.Fomichev@rusal.com)

The study results of ecological state of Krasnoyarsk suburban disturbed and native pine and birch forests for 2016–2018 are given. It has been established that at present in the investigated forest ecosystems adaptation processes to actual anthropogenic impact levels are observed at all components.

В настоящее время значительные территории лесных экосистем как в России, так и в мире подвергаются мощному воздействию комплекса антропогенных факторов. Освоение природных ресурсов и развитие научно-технического прогресса приводят к нарушению экологического равновесия, разрушению естественных экосистем и другим отрицательным последствиям. Особенно уязвимы к негативным воздействиям экосистемы бореального пояса. Ответная реакция лесных экосистем находится в прямой зависимости от дозы поступления токсических выбросов в природные среды и продолжительности их воздействия. Лесные экосистемы Красноярской лесостепи длительное время подвергаются мощному антропогенному прессу выбросов промышленности краевого центра – г. Красноярска. В лесостепной зоне, примыкающей к Красноярску, в основном произрастают сосновые и березовые насаждения, которые играют средообразующую роль, являясь «легкими» города.

В Красноярской лесостепи в результате интенсивной хозяйственной деятельности происходит широкомасштабное обеднение состава и структурное упрощение многих биологических экосистем, что приводит к уменьшению их оптимальной степени функционирования и стабильности [1].

Оценка стабильности биологических систем любого уровня крайне необходима, особенно для определения отклика на антропогенные воздействия. Поэтому изучение вопросов устойчивости данных насаждений к многолетнему техногенному прессу, а также выявление региональных показателей стабильности их развития и функционирования весьма актуально.

Цель исследований заключалась в изучении устойчивости березовых и сосновых пригородных насаждений г. Красноярска в зоне многолетнего воздействия техногенных промышленных выбросов, нерегулируемой рекреации и в фоновых условиях. Современное экологическое состояние пригородных лесов изучалось в 2016–2018 гг. на экосистемном, организменном и тканевом уровнях. Экспедиционные исследования и камеральная обработка данных осуществлялись на основе комплекса общепринятых экологических, лесоводственных, геоботанических, дендрохронологических, сертифицированных химических и физиолого-биохимических методик, а также с использованием дистанционных данных и ГИС-технологий.

В результате трехлетних исследований выявлены существенные изменения антропогенных и природных факторов среды произрастания лесных ценозов и отмечено следующее:

Анализ объемного массива данных абиотических составляющих экологических факторов, в частности, ветрового режима, показал, что для Красноярска и Красноярской лесостепи сохранилась однородность режима ветра в течение всего года [2], что объясняется условиями орографии. Повторяемость юго-западных ветров очень велика в течение всего года. По годам и временам года происходит значительное варьирование штилевых ситуаций. По данным [2, 3] установлено, что за период 2006–2017 гг. в зимний период времени штилей больше, чем в зимние периоды 1938–1975 гг. прошлого столетия.

Проведенный комплекс исследований на основе сравнения с данными мониторинговых исследований, приведенными в монографии [4], позволил установить современные причинно-следственные связи воздействия техногенных и рекреационных нагрузок на состояние компонентов нарушенных сосновых и березовых лесных экосистем Красноярской лесостепи. За десятилетний период отмечено снижение уровней техногенных нагрузок на сосновые и березовые фитоценозы Красноярской лесостепи как в летний, так и в зимние периоды времени. Зафиксировано уменьшение аккумуляции приоритетных загрязнителей, таких как твердые фториды, ионы алюминия, свинца, цинка и кадмия в хвое и листве насаждений. Выявлено также уменьшение степени рекреационной дигрессии исследованных лесных экосистем.

Многолетнее накопление приоритетных промышленных загрязнителей в почве исследуемых насаждений оказывает хроническое воздействие на рост и продуктивность древостоев. Отклик фитоценоза определяется также текущим уровнем поступления токсикантов и подчиняется зависимости доза – эффект.

Санитарное и жизненное состояние березовых и сосновых насаждений соответствует размещению объектов исследования относительно урботерритории, наличию антропогенных источников негативного воздействия на фитоценозы и розе ветров. Очевидно, что худшим состоянием характеризуются дендроценозы, приближенные к восточным окраинам города и испытывающие хронические антропогенные нагрузки. Присутствие в пригородных древостоях незначительной доли отпада, и прежде всего текущего, свидетельствует об их долговременной адаптации к стрессовым условиям. В жизненном состоянии сосновых насаждений за последнее десятилетие не выявлено изменений, тогда как установлено заметное ухудшение состояния колковых березняков, приуроченных к экстремальным биотопам (наиболее прогреваемые участки на фоне повышенного техногенного загрязнения и значительных

рекреационных нагрузок). Последнее обусловлено общей аридизацией условий произрастания в регионах Сибири, к чему в сравнении с сосной более чувствительна береза.

Улучшение процессов возобновления в сосновых фитоценозах является результатом снижения рекреационного и техногенного на них воздействия.

На исследуемой территории снижение рекреационной нагрузки на сосновые фитоценозы за последние 11–15 лет привело к восстановлению видового состава и флористического богатства напочвенного покрова. В березовых фитоценозах, попадающих под влияние техногенных нагрузок, происходит адаптация напочвенного покрова к усиливающимся или находящимся на прежнем уровне антропогенным воздействиям.

Анализ репродуктивной активности сосны обыкновенной свидетельствует о приспособлении ее к современным уровням антропогенного воздействия. Тем не менее, у сосны обыкновенной, так же как у березы повислой, наблюдается снижение жизнеспособности пыльцы на юго-восточной окраине и в северо-восточном направлении от г. Красноярска.

Характер распределения фтора в почве под исследуемыми насаждениями в зоне многолетнего воздействия можно отнести к аккумулятивному, т. е. наибольшие концентрации элемента отмечаются в подстилках, с глубиной уменьшаясь до средних фоновых значений и ниже.

На всей исследуемой территории в почвах не наблюдается превышения ОДК тяжелых металлов и алюминия. Данный факт не отрицает наличия техногенной аккумуляции в верхних горизонтах почв на отдельных пробных площадях, на что указывает значительное превышение концентраций элементов в почвах по отношению к кларкам и фоновому содержанию.

У березы под влиянием техногенного загрязнения появляются признаки ксерофитизации листьев: при незначительном увеличении толщины листовой пластинки увеличивается толщина столбчатого мезофилла, уменьшается толщина верхнего и нижнего эпидермисов, а также площадь эпидермальных клеток. Но степень выраженности этих структурных изменений невелика, что может быть обусловлено как толерантностью березы к загрязнению, так и уровнем загрязнения, не достигающим критических значений. Под влиянием техногенных эмиссий города в стволах березы повислой уменьшается ширина годичных приростов ксилемы (древесины), а также размеры сосудов. Содержание в ксилеме паренхимной ткани (ксилемных лучей) при этом проявляет отчетливую тенденцию к увеличению. Это можно рассматривать как проявление ксероморфных признаков, характерных не только для засушливых условий, но отмечающихся и при ухудшении условий произрастания вследствие антропогенного влияния.

У сосны обыкновенной под действием техногенного загрязнения уменьшаются размеры хвои и ее внутренних структур, изменяется содержание фотосинтетических пигментов. Отмечено возрастание содержания хлорофиллов в хвое сосен загрязненных насаждений, что можно рассматривать как адаптивную реакцию для поддержания необходимого уровня фотосинтеза в условиях техногенной нагрузки, не достигающей критических значений. В стволах сосны обыкновенной под воздействием техногенных нагрузок выявлены снижение годичных приростов древесины (как в миллиметрах, так и по количеству клеток), снижение содержания поздней древесины, увеличение частоты ксилемных лучей; увеличение годичных приростов флоэмы, уменьшение содержания запасающей паренхимы в прикамбиальных слоях луба. При сравнении текущих показателей с данными, полученными в 2007 году, можно предположить улучшение условий произрастания в техногенно нарушенных древостоях.

Рассинхронизация радиального прироста деревьев в загрязненных лесных массивах и в контроле наблюдалась в период с 1990 по 2004 год. После 2004 года синхронность прироста тестовой хронологии и контроля восстанавливается на фоне снижения суммарных выбросов за данный период.

Проведенная в 2016–2018 гг. комплексная экологическая оценка нарушенных лесных экосистем Красноярской лесостепи выявила ряд параметров, характеризующих снижение на них антропогенного воздействия в г. Красноярске.

Отмеченные морфологические и физиологические особенности древесных растений-эдификаторов Красноярской лесостепи и современный состав растений живого напочвенного покрова характеризуют адаптацию лесных сообществ к изменению среды их произрастания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антипова Е.М*. Флора внутриконтинентальных островных лесостепей Средней Сибири. Красноярск: КГПУ им. В.П. Астафьева, 2012. 662 с.
2. *Климат* Красноярска. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1982. С. 230.
3. *Расписание* погоды. Погода в 243 странах мира. [Электронный ресурс.] URL: https://rp5.ru.
4. *Экологическое* состояние пригородных лесов Красноярска / колл. авторов. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2009. 179 с.

УДК630*43

ГОРИМОСТЬ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ В ЛЕСАХ АЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА

О.А. СЛИНКИНА, В.И. ХАРУК

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (sloa@mail.ru)

Исследована частота и площадь лесных пожаров в лиственничниках Азиатского континента. Установлены зависимости параметров горимости от рельефа территории, географической широты произрастания и уровня инсоляции.

ASIAN CONTINENT LARCH FORESTS COMBUSTIBILITY

O.A. SLINKINA, V.I. KHARUK

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (sloa@mail.ru)

Wildfires frequency and area within larch dominant communities was investigated. The relationship between wildfire parameters and relief features, geographical latitude of wildfires location and incoming insolation values were obtained and analyzed.

В последние десятилетия в Сибири, как и в бореальной зоне в целом, наблюдаются возрастание частоты и площади лесных пожаров, сокращение межпожарных интервалов и удлинение пожароопасного периода [1, 2]. В данной работе объектом исследования являются пожары в лиственничниках Азиатского континента (в пределах ареалов *Larix sibirica, L. dahurica, L. kajanderi*; рис. 1).

Цель работы. Анализ связи частоты и площади лесных пожаров с рельефом территории, географической широтой произрастания и уровнем инсоляции.

Материалы и методы. Класс «лиственничники» (сомкнутость>15 %) выделен из карты растительного покрова [3]. Площади пройденных огнем лиственничников получены по данным обработки снимков Terra/MODIS (CCI Land Cover, ESA; [3, 4]) с применением средств ГИС и ЦМР (GMTED2010; вертикальная точность 6 м, разрешение 250 м; [3]). Значения солнечной инсоляции приведены по [5]. Исследуемый период: 2001–2018 гг. (апрель – октябрь).

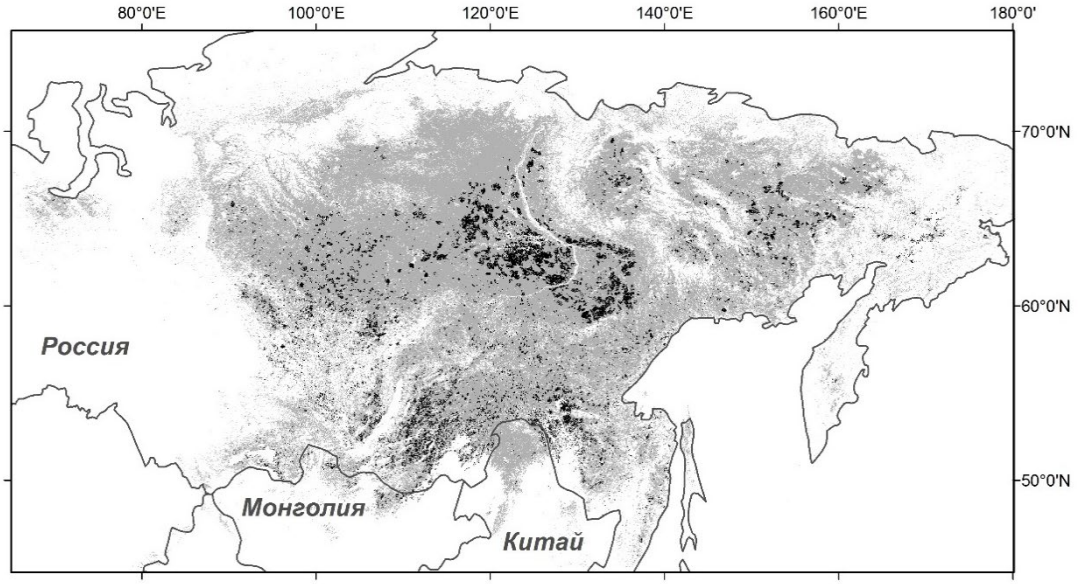


Рис. 1. Ареал *Larix sp.* в пределах Азиатского континета. Черными контурами выделены площади пожаров (пройденные огнем территории, 2001–2018 гг.)

Установлено, что средняя площадь пожара возрастает экспоненциально с увеличением географической широты произрастания лиственничников, тогда как

частота пожаров при этом экспоненциально (логарифмически линейно) падает. Соответственно, наблюдается обратная зависимость указанных параметров от величины падающего солнечного излучения (рис. 2). Отклонения от линейной логарифмической зависимости по площади пожаров наблюдаются в высоких широтах, где резко снижаются лесопокрытые площади и возрастает увлажненность подстилающей поверхности. Число пожаров максимально в зоне максимума антропогенных возгораний, экспоненциально снижаясь в направлении высоких широт, где источником огня являются преимущественно молниевые разряды. Приведенные на рис. 2 зависимости связаны преимущественно с (1) числом источников огня, (2) уровнем готовности лесных горючих материалов к возгоранию, (3) количеством горючих материалов и техническими возможностями борьбы с пожарами. При этом величина инсоляции (поступающая энергия) представляет собой основной фактор, определяющий степень готовности горючих материалов к возгоранию. Погодные условия (метеоусловия) воздействуют на ситуацию на фоне указанного основного фактора.

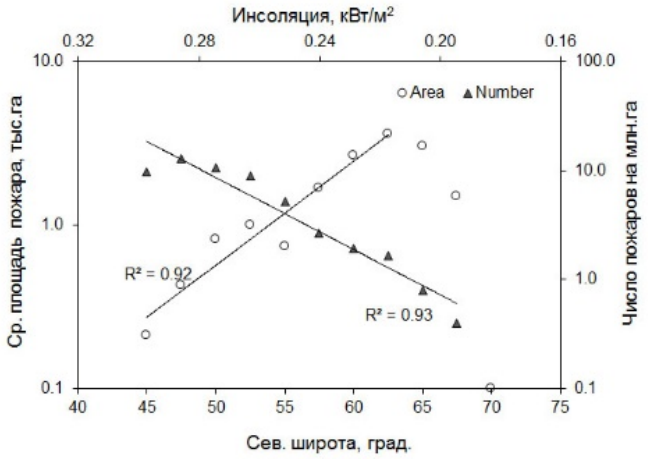


Рис. 2. Зависимость средней площади пожара и числа пожаров, нормированных на площадь лиственницы, от величины инсоляции и географической широты (среднее за 2001–2018 гг.)



Рис. 3. Нормированное (по интервалам высот) распределение площади пожаров по высоте н. у. м. в лиственничниках Азиатского континента

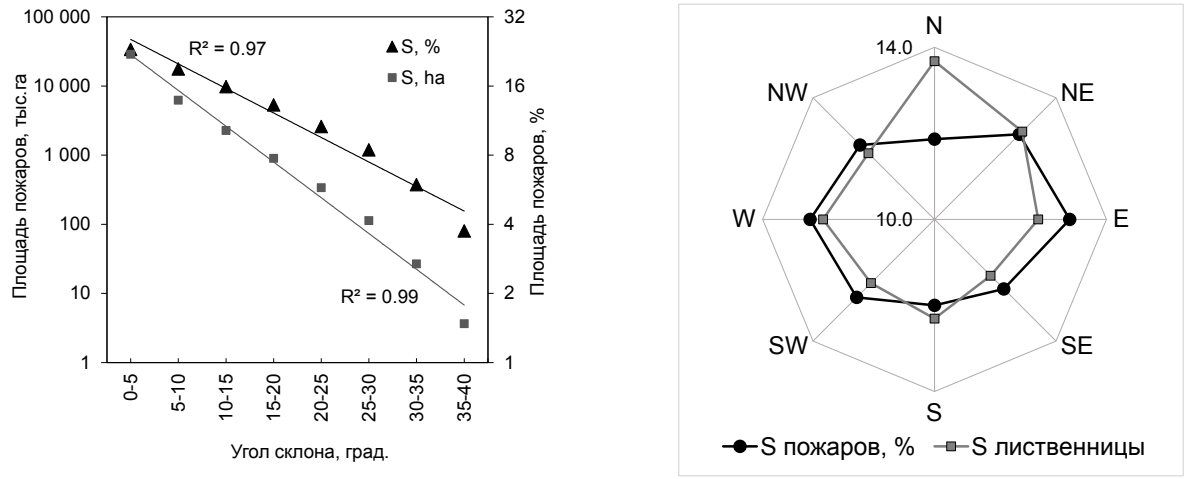


Рис. 4. Зависимость средней площади пожара от крутизны склона (а) и азимута (б)

Горимость лиственничников тесно связана с рельефом территории. Зависимость от высоты над уровнем моря имеет бимодальный характер, обусловленный наличием двух основных зон максимальной горимости – в лиственничниках Якутии и в горах Южной Сибири (рис. 3). Установлена линейная логарифмическая зависимость площади пожаров от угла склона (рис. 4а). Максимальные площади лиственничников соответствуют склонам северной экспозиции, тогда как максимум горимости наблюдается на восточных склонах (рис. 4б). Последнее следует отнести к эффекту «дождевой тени»: осадки выпадают преимущественно на склонах западной и юго-западной экспозиции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Харук В.И., Пономарев Е.И.* Пространственно-временная горимость лиственничников Центральной Сибири // Экология. 2017. № 6. С. 413–419. DOI: 0.7868/S0367059717060026.
2. *Flannigan M., Stocks B., Turetsky M., Wotton M.* Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest // Global Change Biology. 2009. V. 15. I. 3. P. 549–560. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x.http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/.
3. [Электронный ресурс.] URL: http://modis-fire.umd.edu/pages/BurnedArea.php.
4. [Электронный ресурс.] URL: https://topotools.cr.usgs.gov/GMTED_viewer/viewer.htm.
5. [Электронный ресурс.] URL: http://solar-climate.com/sc/bd01.htm.

УДК 630.6

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

В.А. СОКОЛОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (sokolovva@ksc.krasn.ru)

Лесной комплекс России находится в глубоком кризисе. Для исправления ситуации была разработана Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Стратегия в основном повторяет ошибки разработанных в последние годы различных концепций, стратегий и программ развития лесного сектора РФ и ее субъектов.

ON STRATEGY OF THE RUSSIAN FOREST SECTOR DEVELOPMENT

V.A. SOKOLOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (sokolovva@ksc.krasn.ru)

The Russian forest sector is running down. To remedy the situation, a strategy for developing the forest sector of the Russian Federation until 2030 was developed. The strategy basically repeats the mistakes of various concepts, strategies and programs developed in recent years for the Russian Federation as a whole and its subjects.

Анализ многочисленных официальных документов и публикаций свидетельствует, что лесоуправление в России находится в глубоком кризисе [1, 3 и др.].

Для исправления ситуации была разработана Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года (далее – Стратегия), утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.09.2018 № 1989-р. Стратегия в основном повторяет ошибки и недостатки разработанных в последние годы различных концепций и стратегий развития лесного сектора РФ и ее субъектов. По своей сути, эти документы направлены на развитие лесопромышленного комплекса (ЛПК), т. е. на древесинопользование. Между тем лесной сектор состоит из пяти основных взаимосвязанных блоков:

1) лесное хозяйство, обеспечивающее рациональное использование, охрану, защиту и воспроизводство лесов;

2) лесопромышленный комплекс;

3) промысловое использование лесов;

4) сельскохозяйственное использование лесных земель;

5) биосферное использование лесов.

Биосферное использование лесов является основой современной парадигмы устойчивого управления лесами.

Все леса имеют многофункциональное значение, поэтому организация лесного хозяйства в современных условиях должна быть направлена, прежде всего, на многоцелевое лесопользование. Следует признать, что устойчивое управление лесами предполагает знание всего множества полезностей лесных экосистем, которые могут находиться в различных соотношениях между собой – от синергетического до толерантного, конфликтного и взаимноисключающего. Эта часть недостаточно развита в отечественной лесной науке, но именно такой подход позволяет установить официально утверждаемые режимы многоцелевого лесного хозяйства.

Исходя из вышесказанного и должны разрабатываться стратегии и программы развития лесного комплекса, в том числе и на региональном уровне. При этом необходимо решить проблемы федеральной и региональной юрисдикции; инерционного мышления на всех управленческих уровнях; недооценки научно-информационного обеспечения отрасли; фактического отсутствия обоснованных прогнозных оценок развития лесной отрасли при

переходе ее на инновационный, интенсивный путь ведения хозяйства в условиях глобальных изменений.

Главная цель реорганизации лесоуправления в России заключается в обеспечении сохранности лесов для будущих поколений в условиях глобальных изменений и повышения экономической эффективности лесного комплекса.

Доля России в мировой площади лесов составляет 20 % (около 800 млн га). По объему заготовок древесины в 2016 г. Россия была только четвертой после США (402 млн м^3), Китая (340 млн м^3), Бразилии (254 млн м^3). Доля России составляла 6 % от мирового объема – 214 млн м^3. Это вполне естественно, поскольку продуктивность лесов России в 3–5 раз ниже, чем в вышеназванных странах. Поэтому невысок и вклад лесного комплекса в ВВП России. В 2016 г. он составил 1,4 трлн руб., или 0,5 %.

К сожалению, низкая производительность лесов России (средний прирост не превышает 1,3 м^3/га) практически не учитывается при разработке концепций, стратегий и программ развития лесного комплекса России и субъектов РФ. Принимающие решения ведомства и официальные лица дезориентированы громадной площадью лесов (как же – первое место в мире) и завышенной ежегодной расчетной лесосекой (704 млн м^3). Наши данные показывают, что эколого-экономическая ежегодная расчетная лесосека не превышает 35 % от официально действующей [2].

Например, в Красноярском крае действующая лесосека составляет 82,3 млн м^3, а рассчитанная нами экономически доступная лесосека равна 26,8 млн м^3 (32,6 % от действующей), в том числе по хвойным – 21,4 млн м^3. Многие лесопользователи уже испытывают трудности в подборе лесосечного фонда, несмотря на большие лесосеки «на бумаге».

Ошибки Стратегии связаны именно с системным недопониманием сути лесного комплекса, состоящего из пяти вышеназванных блоков, и прежде всего, лесного хозяйства. Это:

1. Отсутствие научно обоснованных стратегий развития лесного комплекса по субъектам РФ, на основании которых должны были быть разработаны лесные планы на период 2019–2028 гг. В результате Стратегия слабо увязана с лесными планами субъектов РФ.

2. Разработка нормативных документов в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов происходит без учета результатов современных научных исследований, во многом дублируя устаревшую парадигму, основанную на командно-административной системе народного хозяйства, в том числе лесного комплекса.

3. Объем заготовки древесины предполагается довести до 286 млн м^3 к 2030 г. Это нереально при современных уровнях развития региональной инфраструктуры, экономической политике в лесном комплексе и отсутствии ясных стратегических ориентиров в развитии отрасли, несмотря на то, что действующая ежегодная расчетная лесосека равна примерно 700 млн м^3. Дело в том, что экономически доступная ежегодная расчетная лесосека не превышает 30–35 % от действующей, или 210–245 млн м^3. К тому же в Стратегии допущена серьезная ошибка при расчетах необходимого объема заготовки древесины с учетом внутреннего потребления и экспорта продукции лесного комплекса. Для внутреннего потребления к 2030 г. необходим объем заготовки от 150 до 200 млн м^3. Для экспорта по базовому варианту необходима заготовка в объеме 240 млн м^3, по стратегическому – 300 млн м^3 (Приложение 20 к Стратегии). Следовательно, с учетом Стратегии в 2030 г. необходима заготовка древесины в объеме от 390 (минимум) до 500 млн м^3 (максимум). Таким образом, переруб экономически доступной расчетной лесосеки составит двукратную величину.

4. В Стратегии не показано решение проблемы финансирования лесного хозяйства в новых условиях. Оценки леса, исходящие только из учета древесины, наносят

объективный вред лесному хозяйству, поскольку занижают ценность многих лесных участков, которые имеют большое экологическое и социальное значение. Да и сама оценка древесины базируется фактически на лесных таксах советских времен (прейскурант 07-01). Поэтому необходимы разработка и внедрение методик и нормативов эколого-экономической оценки лесных ресурсов, соответствующих реальным социально-экономическим условиям. Некоторые наработки в этом плане в России, в том числе в Институте леса СО РАН, имеются.

По своей сути Стратегия является естественным продолжением неудовлетворительной политики, определенной Лесным кодексом 2006 г. Поэтому необходима разработка нового лесного кодекса, учитывающего современные социальные, экологические и экономические реалии, а также необходимость реального перехода к устойчивому лесному хозяйству. Практика внесения многочисленных «косметических» поправок в Лесной кодекс 2006 г. не принесла удовлетворительных результатов. К разработке нового лесного кодекса должны быть привлечены ведущие квалифицированные специалисты науки и практики. Учитывая региональные природно-экономические условия, лесной закон должен быть рамочным, кратким, в виде основ лесного законодательства Российской Федерации. Для регионов должны разрабатываться свои законы прямого действия, которые будут учитывать региональные особенности лесного хозяйства.

Состояние области учета лесных ресурсов, мониторинга, государственного контроля в лесном хозяйстве остается крайне неудовлетворительным, особенно для реализации стратегии перехода к устойчивому лесоуправлению. Лесные планы и лесохозяйственные регламенты разрабатываются на информации неизвестной точности и устаревшими методами. Страна не знает истинного состояния и динамики своих лесов, что ставит под сомнение возможность разработки разумной стратегии развития лесной отрасли.

Между тем лесной комплекс – это отрасль материального производства, в которой действуют не только законы рыночной экономики: здесь требуется серьезное непрерывное участие государства, учитывая средообразующую роль лесов. Исходя из этого следует реконструировать лесоуправление в России, следуя стратегическим предпосылкам перехода к устойчивому, адаптивному к глобальным изменениям лесному хозяйству.

Особо важной проблемой является правильная расстановка кадров в сфере лесоуправления и обеспечение лесной отрасли профессионалами высокого уровня. В структуре управления, определяющей развитие отрасли, должны быть специалисты, имеющие профильное образование, с серьезной практикой работы в лесном комплексе.

Дальнейшее развитие лесного комплекса во многом будет зависеть от способности федерального центра к диалогу с субъектами федерации, предприятиями и организациями лесного сектора, научными и общественными организациями в сфере лесной политики и практики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Соколов В.А., Втюрина О.П., Соколова Н.В.* О разработке стратегии развития лесного комплекса Красноярского края на период до 2030 года // Сибирский лесной журнал. 2016. № 4. С. 39–48.
2. *Соколов В.А., Вараксин Г.С., Фарбер С.К.* Организация хозяйства в лесах Красноярского края. Saabrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2017. 190 с.
3. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Кракснер Ф., Онучин А.А.* Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки // Сибирский лесной журнал. 2017. № 6. С. 3–25.

УДК 631.412:631.417.1

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАПАСОВ И ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЧВАХ БАССЕЙНА Р. ЕНИСЕЙ

И.А. СОЛНЫШКИН[1], И.В. ТОКАРЕВА[1], М.П. ПРОКУШКИНА[2], М.А. КОРЕЦ[1], А.С. ПРОКУШКИН[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (prokushkin@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

В работе представлены результаты исследований количественных и качественных характеристик органического вещества почв в бассейне р. Енисей. Приведен сравнительный анализ адсорбции водорастворимого органического вещества в почвах.

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF STOCKS AND SORPTION PROCESSES OF ORGANIC CARBON IN SOILS OF THE YENISEI RIVER BASIN

I.A. SOLNYSHKIN [1], I.V. TOKAREVA [1], M.P. PROKUSHKINA[2], M.A. KORETS [1], A.S. PROKUSHKIN[1, 2]

[1] Sukachev Institute of forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (prokushkin@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia

The work presents the results of studies of quantitative and qualitative characteristics of soil organic matter on the latitudinal transect within the Yenisei river basin. An adsorption capacity of water soluble organic matter in soil horizons from different habitats was compared to estimate potential stabilization of organic carbon with permafrost degradation.

Существенную роль в регулировании латерального транспорта растворенного органического вещества (РОВ) в наземных экосистемах играют климатозависимые внутрипочвенные процессы, а именно, его иммобилизация на глинистых минералах и оксидах металлов и его доступность к микробной минерализации. Особую актуальность при потеплении климата этот процесс приобретает в районах распространения многолетнемерзлых почв, где малая глубина деятельного слоя почвы и слабая степень выветривания материнских пород (включая низкое содержание полуторных оксидов Fe и Al) в настоящее время определяют повышенный вынос РОВ в гидрографическую сеть. С ростом теплообеспеченности криоземов, увеличением мощности деятельного горизонта и содержания педогенных минералов отмечается рост запасов стабильного почвенного органического вещества, тогда как поступление РОВ в гидрографическую сеть криолитозоны снижается. В этой связи актуальной задачей остается количественная оценка сорбционной емкости оттаивающих горизонтов мерзлотных почв в зависимости от их физико-химических характеристик, определяющих процессы иммобилизации.

В ходе экспедиции по р. Енисей от г. Красноярска (56º с. ш.) до г. Игарка (67,4º с. ш.) было выполнено обследование 11 ключевых участков, расположенных на правобережье и левобережье (рис. 1). Помимо этого, были заложены почвенные разрезы в районе п. Тура и г. Игарка по ландшафтным разностям, характеризующиеся разными гидротермическими условиями. Образцы минеральной почвы отбирались по генетическим горизонтам почв. Образцы для определения удельной плотности отбирались кольцом объемом 100 $см^3$. В лаборатории образцы были просеяны (2 мм) и высушены до постоянной массы. В образцах были проанализированы содержание почвенного органического углерода (ПОУ) и общего азота, а также соотношения стабильных изотопов ($\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$). Водные экстракты (почва:деионизированная вода 1:10) использовали для определения pH, удельной электропроводности, содержания биогенных элементов ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_3$ $P\text{-}PO_4$) и водоэкстрагируемого

органического углерода (ВЭОУ). Анализ гранулометрического состава выполнен в ФГБУ ГЦАС «Красноярский».

В пилотных исследованиях сорбционных свойств использованы минеральные горизонты А, В и ВС, отобранные в районах п. Зотино (левобережье и правобережье), г. Игарка и п. Тура. Для получения адсорбата использован смешанный образец органических горизонтов соответствующих типов почв (соотношение почва:вода – 1:20). Адсорбат разных концентраций ОУ приведен к одинаковым значениям pH и электропроводности. Экзогенный ОУ вносили в 2–3-кратной повторности в концентрации 0, 5, 10, 25 и 50 ммольС/кг почвы. Эксперименты проводились путем добавления 50 мл адсорбата к 10 г почвы. Для перемешивания использовался шейкер, и после 24 ч инкубации при комнатной температуре раствор отделяли от минеральной фазы путем центрифугирования и фильтрации супернатанта через 0,7 мкм GF/F фильтры (Whatman). В полученных фильтратах были определены концентрации органического углерода (Elementar VarioTOC cube) и их спектральные характеристики.

Физико-химические свойства почв. Почвы территории правобережья Енисея представлены в основном легкими суглинками. Средние и тяжелые суглинки отмечаются на территории как среднего, так и нижнего течения и не обнаружили широтной и ландшафтной приуроченности. Также не выявлено общих закономерностей в соотношении механических фракций по профилю почвы. Исключение составляют нижние горизонты подбуров в районе п. Тура, для которых характерно преобладание фракции песка, что относит их к супесям (содержание физической глины 12–15 %). Обратная картина характерна для левобережных участков с доминированием подзолов иллювиально-железистых, где в гранулометрическом составе верхних горизонтов преобладает фракция песка и лишь на глубинах 80–200 см наблюдаются линзы глин.

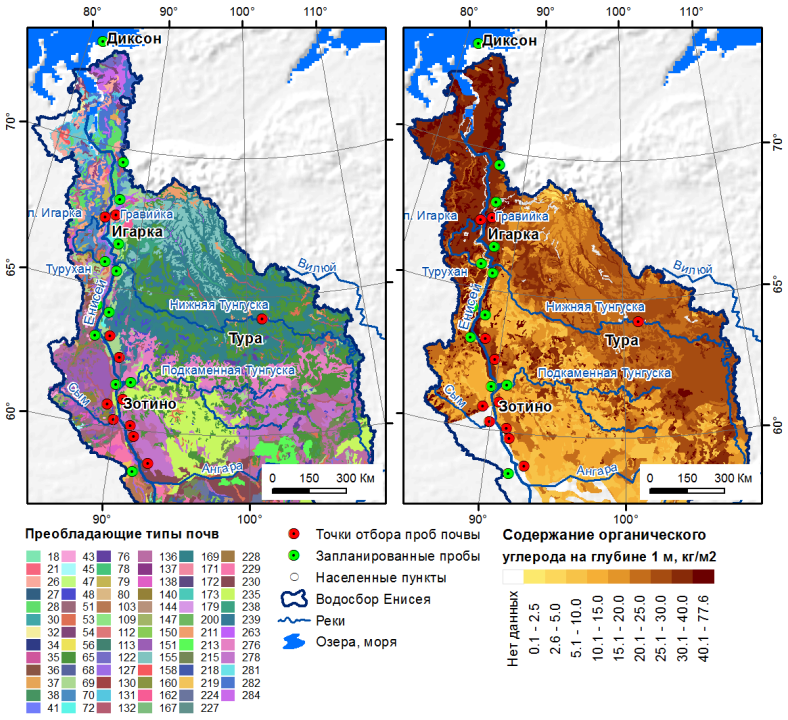


Рис. 1. Карты типов почв [4] и запасов почвенного органического углерода (в мерзлотных почвах, [2]) в пределах бассейна р. Енисей с нанесенными точками отбора почвенных проб в 2018 г. (обозначены красным цветом) и планируемых в 2019 г. (зеленым цветом)

Содержание ПОУ в верхнем минеральном органогенном горизонте исследованных почв варьирует от 2,5 до 14,9 % и убывает с глубиной до 0,2–0,7 %. Запасы почвенного органического углерода в минеральных почвах варьируют от 3 до 12 кг С/м^2. При этом в криогенных почвах большие запасы почвенного ОУ характерны для маломощных криоземов (6–10 кг С/м^2 в 0,3–0,6 м толщи почвы), тогда как в более развитых подбурах его запасы до глубины 1 м варьируют лишь в пределах 3–5 кг С/м^2. Вариабельность пространственного распределения запасов ПОУ в значительной мере определяется орографическими особенностями территории. Так, в пределах Енисейского кряжа отмечен рост запасов органического углерода от вершин склонов к их подножию от 3,4 до 10 кг С/м^2. Содержание стабильного изотопа ^{13}C (δ^{13}C) в ПОУ увеличивается с глубиной от -28 – -31 ‰ до -23 – -25 ‰. Отмечена большая степень минерализации почвенного органического вещества с глубиной в пределах северо-запада Енисейского кряжа, что отражается в наиболее узком соотношении C:N и более тяжелом изотопном составе этих элементов (рост значений δ^{13}C и δ^{15}N). ВЭОУ составляет от 0,2 до 2,8 % от общего пула ПОУ, причем его содержание, напротив, увеличивается в нижних горизонтах почвы. Степень ароматизации (SUVA) ВЭОУ также повышается с глубиной с 1,7 до 12 м л/мгС. Анализ спектральных характеристик, таких как спектральный угол (S275–295, S350–400) и их отношение SR (см. [1]), отношений E4:E6, E2:E3 выявил снижение молекулярной массы ВЭОУ с глубиной.

Сорбционные характеристики почв. Сорбция водорастворимого органического вещества оценивалась с помощью линейных изотерм сорбции (RE = mx +b) [3]. Проведенные исследования показали, что коэффициент распределения (m) выше для горизонта B (в середине почвенного профиля). Исключение – подзолы иллювиально-железистые, Зотино) (рис. 2а). Причем для этого типа почв характерны и наименьшие значения m: 0,30±0,10 в горизонтах Ah и C1 (глинистый горизонт) и 0,23±0,02 в горизонтах B1 и B2. Для криоземов (участки Тура и Игарка) значения m значительно выше, составляя в среднем 0,60±0,15. Более высокие значения сорбционной емкости обнаружены для подбуров участка Тура, где в горизонте B величина m достигала 0,9, что, вероятно, связано со значительным содержанием реактивного железа. Промежуточное положение среди исследованных участков занимали палево-подзолистые почвы, сформированные под пихтовыми древостоями правобережья р. Енисей, для которых отмечен прирост значений m с глубиной от 0,50±0,07 в горизонтах A до 0,66±0,08 в горизонте BC. Коэффициенты десорбции (b) органического вещества снижаются с глубиной по профилю почвы (рис. 2б) и коррелируют с содержанием ПОУ (рис. 3).

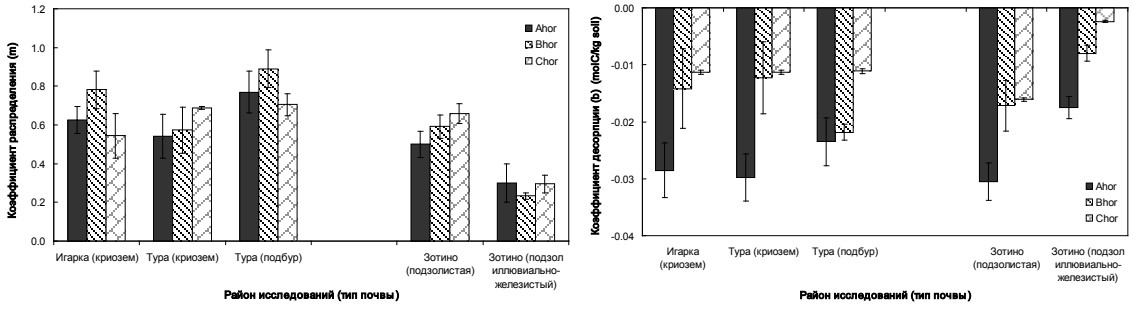


Рис. 2. Коэффициенты распределения (а) десорбции (б) для почв различных участков в пределах бассейна р. Енисей

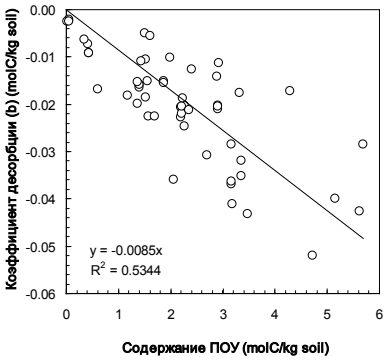


Рис. 3. Зависимость десорбции растворенного органического углерода (b) от содержания почвенного органического углерода (ПОУ)

Полученные для контрастных участков данные демонстрируют высокую сорбционную емкость суглинистых почв, включая почвы криолитозоны. В контексте деградации мерзлоты при потеплении климата рост глубины деятельного слоя и вероятные изменения минералогического состава предполагают рост сорбции РОУ фильтрационных вод лесных подстилок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Helms J. R., Aron S., Jason, D. R. Minor E. C., Kieber D. J., Mopper K.* Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter // Limnol. Oceanogr. – 2008. – 53(3). – P. 955–969.
2. *Hugelius G., Tarnocai C., Broll G., Canadell J.G., Kuhry P., Swanson D. K.* The Northern Circumpolar Soil Carbon Database: spatially distributed datasets of soil coverage and soil carbon storage in the northern permafrost regions // Earth Syst. Sci. Data. 2013. 5. P. 3–13.
3. *Nodvin S.C., Driscoll C.T., Likens G.E.* Simple partitioning of anions and dissolved organic carbon in a forest soil // Soil Science. 1986. 142. P. 27–35.
4. *Rojkov V.A., Gorshkova M.A., Rukhovich D.I., Kovaleva P.V., Nilsson S., Shvidenko A., McCallum I.* Deliverable 21 – Soil map and database, and Deliverable 22 – Accuracy assessment of soil map. – unpublished deliverables of Siberia-II project. 2003.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования проведены в рамках проекта РФФИ-Арктика № 18-05-60203.

УДК 581.5.526

ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ БАССЕЙНА РЕКИ ТОБОЛ В ПРЕДЕЛАХ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Е. СОЛОДУХИНА

Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова, Костанай, Казахстан (rittih@mail.ru)

Вековое влияние экологических факторов и приспособительные реакции определили облик растений и их отношение к этим факторам, т. е. жизненную форму. Эколого-морфологически жизненную форму высших растений определяем как своеобразный общий облик (габитус) определенной группы растений, возникающий в их онтогенезе в результате роста и развития в определенных условиях среды [2, 3]. Габитус исторически возникает в данных почвенно-климатических условиях как выражение приспособленности растений к этим условиям. Проблемой изучения жизненных форм занимались многие ученые [1, 3, 7].

WOOD AND BUSH VEGETATION OF THE TOBOL RIVER BASIN IN THE LIMITS OF THE KOSTANAY REGION

A.E. SOLODUKHINA

Kostanay State University named after A. Baitursynov, Kostanay, Kazakhstan (rittih@mail.ru)

The age-old influence of environmental factors and adaptive reactions determined the appearance of plants and their relationship to this factor, i. e. life form. The ecologo-morphological life form of higher plants is defined as a peculiar general shape (habit) of a certain group of plants, arising in their ontogenesis as a result of growth and development under certain environmental conditions [2, 3]. Habitus historically occurs in these soil and climatic conditions, as an expression of the adaptability of plants to these conditions. The problem of studying life forms involved many scientists [1, 3, 7].

Анализ жизненных форм растений в долине реки Тобол приводится в обычном для флористических работ объеме [6]. На месте произрастают деревья (число видов жизненных форм / % от общего числа видов – 583) (13/2, 22 % *Pinus sylvesris* L., *Betula pendula* Roth., *Acer tatarica* Ginnala), кустарники (19/3, 25 % – растения этой группы наиболее широко представлены семействами *Salicaceae* Mirb., *Fabaceae* Lindl., *Rosaceae* Juss.), полукустарники (21/3, 6 % – это в основном представители семейств *Asteraceae* Dumort., *Chenopodiaceae* Vent., *Lamiaceae* Lindl.) [5]. Сообщества с доминированием деревьев и кустарников в долине реки Тобол и ее притоков значительно деградированы и представлены отдельными островками сосновых, березовых, ольховых, тополевых лесов и зарослей кустарников.

Сосновые леса

Ассоциация *Pinetum-betuleto equisetoso-saxatilirubosum* (табл. 1).

Древостой (*Pinus sylvesris* L.) с примесью березы (*Betula pendula* Roth.). Подлесок слабо развит и состоит из единичных кустов *Ribes nigrum* L., *Salix rosmarinifolia* L., *Spiraea crenata* L., *Lonicera tatarica* L.

Травяной покров средней густоты. Общее проективное покрытие 60 %. Доминируют *Rubus saxatilis* L., *Equisetum hyemale* L., *Equisetum pratense* L., *Equisetum ramosissimum* Desf. Единично встречаются *Artemisia vulgaris* L., *Chaerophyllum prescottii* DC., *Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb., *Fragaria vesca* L., *Galium boreale* L., *Galium verum* L., *Geranium pratense* L., *Heracleum sibiricum* L., *Lycopus europaeus* L., *Plantago major* L., *Rumex confertus* Willd., *Seseli libanotis* (L.) W.D.J. Koch, *Silene borysthenica* (Grun.) Walters, *Silene nutans* L., *Thalictrum collinum* Wallr., *Lupinaster pentaphyllus* Moench, *Veronica longifolia* L., *Veronica spuria* L., *Tanacetum vulgare* L., *Achillea millefolium* L., *Geum urbanum* L., *Omalotheca sylvatica* (L.) F.W. Schultz, *Lathyrus pratensis* L., *Puccinellia tenuissima* (Litv. ex V.I. Krecz.) Pavlov.

Таблица 1. Ассоциация *Pinetum-betuleto equisetoso-saxatilirubosum*

№ п/п	Научное название растений	Высота	Фенофаза	Обилие по Drude
1	*Rubus saxatilis* L.	30	бут.	Cop3
2	*Equisetum hyemale* L.	20	вегет.	Cop3
3	*Equisetum pratense* L.	15	вегет.	Cop3
4	*Equisetum ramosissimum* Desf.	15	вегет.	Cop3
5	*Artemisia vulgaris* L.	25	вегет.	Sol
6	*Chaerophyllum prescottii* DC.	20	вегет.	Sol
7	*Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb.	20	вегет.	Sol
8	*Fragaria vesca* L.	15	бут.	Sol
9	*Galium boreale* L.	35	цвет.	Sol

Березовые леса

Произрастают на надпойменных террасах и прилегающих к руслу участках коренного берега. Представлены следующими ассоциациями: *Betuletum filipendosum*, *Betuletum spirosum*, *Betuletum festucosum*, *Betuletum sedosum*.

Ассоциация *Betuletum sedosum* (табл. 2).

Расположен на коренном берегу на выходах коренной породы. Древостой состоит из березы (*Betula pendula* Roth.) с примесью осины (*Populus tremula* L.). Подлесок слабо развит, представлен единичными кустами: *Spiraea crenata* L., *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt., *Rosa acicularis* Lindl.

Травяной покров средней густоты. Общее проективное покрытие 60 %. Доминирует *Sedum hybridum* L., рассеянно и единично встречаются: *Heracleum sibiricum* L., *Filipendulla ulmaria* (L.) Maxim., *Achillea millefolium* L., *Trifolium montanum* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Rubus saxatilis* L., *Equisetum hyemale* L., *Polypodium vulgare* L., *Poa angustifolia* L., *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, *Fragaria vesca* L., *Lupinaster pentaphyllus* Moench, *Hypericum perforatum* L., *Dracocephalum thymiflorum* L, *Glechoma hederacea* L., *Leonurus glaucescens* Bunge, *Phlomis tuberosa* L., *Solanum dulcamara* L., *Plantago cornuti* Gouan, *Galium boreale* L., *Valeriana rossica* P. Smirn., *Artemisia austriaca* Jacq., *Cynoglossum officinale* L.

Таблица 2. Ассоциация *Betuletum sedosum*

№ п/п	Научное название растений	Высота	Фенофаза	Обилие по Drude
1	*Sedum hybridum* L.	15	бут.	Cop3
2	*Heracleum sibiricum* L.	20	вегет.	Sol
3	*Filipendulla ulmaria* (L.) Maxim.	35	цвет.	Sol
4	*Achillea millefolium* L.	30	вегет.	Sol
5	*Fragaria vesca* L.	15	цвет.	Sol
6	*Dracocephalum thymiflorum* L.	30	бут.	Sol
7	*Galium boreale* L.	25	вегет.	Sol
8	*Valeriana rossica* P. Smirn.	40	бут.	Sol
9	*Artemisia austriaca* Jacq.	35	вегет.	Sol
10	*Cynoglossum officinale* L.	30	вегет.	Sol

Ольховые леса

Представлены единственной ассоциацией, отмеченной в долине реки Тогузак.

Alnus glutinosa + *Salix caprea* (табл. 3).

Располагаются на местами заболоченном правом берегу реки Тогузак.

Древостой состоит из ольхи (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Подлесок редкий, из *Salix caprea* L., *Genista tinctoria* L. Травяной покров разреженный. Общее проективное покрытие составляет 40 %. Доминируют *Rumex confertus* Willd., *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski., *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth (мезофит эвритоп, факультативный псаммофил, многолетник злаковидный корневищный) и *Arctium tomentosum* Mill. Единично встречаются: *Geranium pratense* L., *Filipendulla ulmaria* (L.) Maxim., *Lysimachia vulgaris* L., *Fragaria vesca* L., *Galium verum* L., *Cynoglossum officinale* L., *Geum urbanum* L., *Koeleria glauca* (Spreng.) DC., *Tanacetum vulgare* L., *Vicia cracca* L., *Seseli libanotis* (L.) W.D.J. Koch, *Phleum pratense* L., *Potentilla canescens* Bess., *Puccinellia tenuissima* (Litv. ex V.I. Krecz.) Pavlov, *Eryngium planum* L. (ксеромезофит, многолетник разнотравный стержнекорневой).

Таблица 3. Ассоциация *Alnus glutinosa* + *Salix caprea*

№ п/п	Научное название растений	Высота	Фенофаза	Обилие по Drude
1	*Rumex confertus* Willd.	35	бут.	Cop3
2	*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski.	30	вегет.	Cop2
3	*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth	35	вегет.	Cop1
4	*Filipendulla ulmaria* (L.) Maxim.	30	бут.	Sol
5	*Lysimachia vulgaris* L.	25	вегет.	Sol
6	*Fragaria vesca* L.	15	бут.	Sol
7	*Galium verum* L.	20	вегет.	Sol
8	*Cynoglossum officinale* L.	15	вегет.	Sol
9	*Geum urbanum* L.	15	вегет.	Sol
10	*Koeleria glauca* (Spreng.) DC.	20	вегет.	Sol

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алехин В.В.* Растительность СССР в основных зонах: учеб. пособие для ун-тов и педвузов. 2-е изд. М.: Сов. наука, 1951. 512 с.
2. *Двораковский М.С.* Экология растений: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1983. 190 с.
3. *Серебряков И.Г.* Экологическая морфология растений // Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М.: Высш. шк., 1962. 378 с.
4. *Солодухина А.Е.* Ассоциированность видов растений в биоценозах Узункольского района Костанайской области // Фундаментальные медико-биологические науки и практическое здравоохранение. Сб. науч. работ с матер. тр. II Междунар. телеконференции: фундаментальные науки и практика. 1. № 3. Томск: ООО «Крокус», 2010. С. 74–76.
5. *Солодухина А.Е.* Биоэкологический спектр флоры и растительности равнинных рек Иргиз, Урал, Тобол // Научные исследования современных ученых / Сб. науч. работ XXV Междунар. науч.-практ. конф. Москва: МНЦ «Олимп», 2017. С. 70–75.
6. *Сукачев В.Н., Дылис Н.В.* Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1966. 331 с.
7. *Raunkiaer Ch.* The life forms of plants and statistical plant geography, being the collected papers of C. Raunkiaer /transl. from Danish. Introduction by A.G. Tansley. Oxford: Clarendon Press, 1934. 632 p.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор признателен доктору биологических наук Татьяне Михайловне Брагиной (Костанайский государственный педагогический университет им. У. Султангазина), доктору биологических наук Нугману Кульдарбековичу Аралбаеву (Институт ботаники и фитоинтродукции МОН РК) за содействие в консультационных вопросах по биологической тематике научных исследований и обзор практических основ в области особо охраняемых природных территорий изучаемого региона.

УДК 81’374

О СОЗДАНИИ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОГО КОРПУСА ДАННЫХ ПО ЛЕСНОЙ ПИРОЛОГИИ ДЛЯ МНОГОЯЗЫЧНОГО СЕТЕВОГО РЕСУРСА

Т.М. СОФРОНОВА[1], А.В. ВОЛОКИТИНА[2]

[1] Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, Красноярск, Россия (tmsofronova@gmail.com)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (volokit@ksc.krasn.ru)

На примере лесной пирологии предложена методика составления терминологического корпуса данных для разработки многоязычного сетевого ресурса, ориентированного на широкий круг пользователей.

ON CREATION OF TERMINOLOGICAL DATA CORPUS ON FOREST FIRE SCIENCE FOR MULTILANGUAGE NETWORK RESOURCE

T.M. SOFRONOVA[1], A.V. VOLOKITINA[2]

[1] V.P. Astafiev Krasnoyarsk State Pedagogical University, Krasnoyarsk, Russia (tmsofronova@gmail.com)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (volokit@ksc.krasn.ru)

On the example of forest fire science, a technique is discussed of creating a terminological corpus for development of a multilanguage network resource aimed at a wide range of users.

Одним из наиболее активно развивающихся направлений лингвистических информационных ресурсов на сегодняшний день является корпусная лингвистика. Корпус – это собрание электронных текстов, обработанных с помощью специальных программ для облегчения поиска нужной информации и ее анализа. Уже созданы и развиваются корпусы национальных языков (русского, английского, французского и т. д.). Интересные проекты в области корпусной лингвистики разрабатываются в Лингвистической лаборатории по корпусным технологиям Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (https://cfi.hse.ru/corpora/): Корпус русских учебных текстов, Тренажер по академическому письму, Корпус письменных студенческих работ на английском языке и Корпус несовершенных переводов.

Во всем этом многообразии жанров корпусов текстов особое место занимают корпусы специальных (научных) текстов, которые отражают знания по конкретным предметным областям. Они востребованы как в научно-технической лексикографии (при составлении терминологических ресурсов, рубрикаторов, классификаторов), так и в сфере автоматической обработки текстов (при индексировании и реферировании документов, информационном поиске и машинном переводе) [1]. Особенно важны исследования специальных корпусов текстов для областей знаний, которые относительно недавно сформировались на стыке наук. Одной из таких областей является наука о природных пожарах (пирология).

К настоящему времени назрела необходимость в создании специального корпуса по пирологии, который мог бы использоваться и как самостоятельный продукт для поиска необходимой информации, и как основа для разработки сравнительно-сопоставительного многоязычного сетевого ресурса научной терминологии (на примере пирологии). В идеале такой сетевой ресурс должен: 1) объединять черты переводного, толкового, энциклопедического и виртуального словарей; 2) учитывать особенности каждой национальной терминологии и позволять сохранять уникальность каждой системы знаний (т. н. локализация терминологий); 3) позволять сравнивать научные терминологии разных стран для последующей их гармонизации (т. н.

глобализация терминологий); 4) предоставлять пространство для совместного решения терминологических проблем, объединяя усилия терминологов, переводчиков и ученых на национальном и международном уровнях; 5) отражать историю развития научных понятий, стоящих за терминами, и существующие подходы к их пониманию; 6) раскрывать особенности употребления терминов в письменной речи, т. е. представлять типичные сочетания терминов; 7) быть открытым для пополнения и редактирования [5].

Для развития предложенного многоязычного ресурса требуется создание пирологических корпусов текстов для каждой национальной терминологии. В США создана некоммерческая пирологическая библиотека (FRI Library http://www.fireresearchinstitute.org/), которая может послужить основой для создания корпуса по пирологии США. В России и других странах подобной электронной библиотеки нет. Поэтому потребуются немалые усилия для сбора и оцифровки данных для будущего корпуса по пирологии России. Таковы перспективы на будущее.

В настоящее время основной проблемой, с которой сталкиваются разработчики крупных корпусов данных, является авторское право. Для того чтобы тот или иной текст попал в корпус данных, необходимо соблюсти все юридические предписания. Для того чтобы создать хотя бы основной костяк корпуса в более сжатые сроки с учетом всех авторских прав, мы предлагаем организовать сбор данных на добровольных началах. Для этого можно сделать специальную рассылку по специалистам (ученым, преподавателям в основных исследовательских и учебных учреждениях страны) с предложением участвовать в создании специального корпуса по пирологии. Учитывая, что разными аспектами пирологии занимаются не только пирологи, но и биологи, гидрологи, почвоведы, физики, математики и т. д., интерес представляют и работы смежных с пирологией областей науки.

Для участия в создании подобного корпуса специалистам можно предложить прислать разработчикам несколько своих обобщающих работ (желательно в электронном виде), например, от 10 до 20 работ для специалистов-пирологов и от 5 до 10 работ для специалистов смежных специальностей. Таким образом, сам автор работ дает тем самым разрешение на размещение результатов своих исследований в специальном корпусе для дальнейшего использования в научных целях. Для включения в корпус работ основоположников пирологии, которых уже нет с нами, потребуется специальная работа в библиотеках по оцифровке данных. Что касается уже имеющихся справочных материалов по лесоводству, лесоведению и пирологии, то их можно будет объединить в подкорпусе справочной литературы.

Собранные материалы обрабатываются специальными программами разметки текстов, которые облегчают в дальнейшем поиск и обработку текстовой информации, например, для уточнения особенностей значения терминов через их употребление в контексте, их сочетания с другими терминами или другими частями речи (прилагательными, глаголами). При этом после такой обработки текстов вся графическая информация теряется и остается только текстовая информация. Поэтому для возможности проведения и более глубокого анализа научных понятий, концепций, классификаций мы предлагаем сохранять в подобных специальных корпусах данных оригинальные версии текстов с иллюстрациями с возможностью перехода к ним через результаты корпусного поиска.

Следующим этапом работы является разработка многофункционального сетевого ресурса, в создании которого смогут принять участие в качестве рецензентов или авторов/соавторов статей как специалисты-пирологи, так и те, кто занимается смежными исследованиями в пирологии. Таким образом, основной костяк работ в корпусе, конечно, должен быть представлен работами пирологов, но поскольку

пирология пересекается со многими другими областями знаний и проводятся междисциплинарные исследования, эти междисциплинарные исследования тоже должны быть отражены в корпусе. Дело в том, что на стыке наук возможно обнаружение зарождения новых терминов, важных и для пирологии, и для смежных областей знаний.

Предлагаемый проект создания многоязычного сетевого ресурса для сравнительно-сопоставительного представления научной терминологии (на примере пирологии) был поддержан программой академической мобильности «Атлас» Фонда наук о человеке (г. Париж, Франция) совместно с Центром франко-российских исследований (г. Москва, Россия) и приглашающей стороной – Лабораторией компьютерного анализа и обработки данных французского языка (совместным исследовательским подразделением Национального центра научных исследований (г. Париж) и Университета Лотарингии (г. Нэнси)).

Во время стажировки мы познакомились с опытом развития лексических систем французского, английского и русского языков под руководством профессора Алена Польгера [4] в Лаборатории компьютерного анализа и обработки данных французского языка при Университете Лотарингии. В основе разрабатываемых систем лежит теория «Смысл-Текст» И.А. Мельчука [3], а также его толково-комбинаторная лексикология с развитой системой лексических функций, универсальных для естественных языков. Для визуализации всего комплекса связей между значениями слов национального языка разрабатывается специальный лексикографический редактор «ItsyBitsy Editor» (http://kodexlab.com). На тех же теоретических основах И.А. Мельчука, но с использованием другого лексикографического редактора, «NeoVisual», разрабатывается новый подход к описанию и визуализации терминологических систем в Лингвистической обсерватории «Смысл-Текст» при Университете Монреаля (Канада) [2]. Данный опыт может быть интегрирован и при разработке предлагаемого многоязычного сетевого ресурса научной терминологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Митрофанова О.А., Захаров В.П.* Автоматизированный анализ терминологии в русскоязычном корпусе текстов по корпусной лингвистике // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. 2009. 8 (15). С. 321–328.
2. *L'Homme M.-C., Robichaud B., Previl N.* Browsing the terminological structure of a specialized domain: a method based on lexical functions and their classification. L18-1487 Proceedings of the Eleventh International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC – 2018). Miyazaki, Japan, European Language Resource Association, May, 2018. [Электронный ресурс.] URL: https://www.aclweb.org/anthology/L18-1487.
3. *Melcuk I.* Lexical Functions. In: Phraseology: An International Handbook of Contemporary Research. Berlin/New York, 2007. Pp. 119–131.
4. *Polguére A.* From writing dictionaries to weaving lexical networks. International Journal of Lexicography. 2014. V. 27. I. 4. Pp. 396–418.
5. *Sofronova T.M.* Multilingual network resource model for scientific terminology // Матер. VII и VIII Всеросс. студенческих науч.-практ. конференций с междунар. участием «Стратегия и тактика письменного перевода: традиции и инновации». Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2018. С. 88–104.

631.41

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ ГОРНО-ЛЕСНОГО ПОЯСА ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

В.В. СТАРЦЕВ, А.А. ДЫМОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия (vik.startsev@gmail.com)

Охарактеризованы особенности органического вещества почв, формирующихся в лиственничниках горно-лесного пояса Приполярного Урала, современными методами разделения ПОВ на различные функциональные пулы, такими как денсиметрическое фракционирование и хроматография гидрофобного взаимодействия (ХГВ).

SOIL ORGANIC MATTER OF LARCH FORESTS IN MOUNTAIN-FOREST BELT OF THE SUBPOLAR URALS

V.V. STARTSEV, A.A. DYMOV

Institute of biology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

The features of the soil organic matter (SOM) formed in the larch forests of the mountain-forest belt of the Supolar Urals by modern methods of separation of SOM into various functional pools: densimetric fractionation and hydrophobic interaction chromatography (HIC) are characterized.

Почвенное органическое вещество (ПОВ) является ключевым компонентом в функционировании экосистем и является одним из наиболее чувствительных компонентов почв высоких широт к климатическим изменениям [1, 8, 9]. В настоящее время изучению ПОВ уделяется огромное внимание, а современные методы совершенствуются и представляют собой систему выделения различных функциональных пулов, характеризующихся однородностью физико-химических свойств [2, 7]. Приполярный Урал представляет собой значительный интерес для исследований, поскольку является южной границей криолитозоны и распространения многолетнемерзлых пород.

Цель исследования – изучить органическое вещество почв горно-лесного пояса Приполярного Урала.

Объекты исследования располагались в северной части Приполярного Урала. Работы проводились на территории национального парка «Югыд ва». Почвы региона относятся к округу Приполярного Урала горно-тундровых и горно-лесных глееподзолистых потечно-гумусовых почв. Объектами исследования были выбраны преобладающие почвы горно-лесного пояса Приполярного Урала – подзолы иллювиально-железистые. Всего было заложено 4 почвенных разреза (n=4).

Химический анализ почв выполнен в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН общепринятыми в почвоведении методами [4]. Названия почв даны согласно Полевому определителю почв России [3]. Органическое вещество было исследовано с помощью нескольких методов: метода денсиметрического фракционирования и хроматографии гидрофобного взаимодействия (ХГВ). Фракционирование почв осуществляли раствором поливольфрамата натрия согласно методическим разработкам [5, 6]. Хроматографическое фракционирование проводили на колонке 1×10 см с гидрофобизированным гелем агарозы (Octyl Sepharose CL-4B, Pharmacia) на хроматографе BioLogic LP (BioRad, USA).

В результате проведенных исследований было выявлено, что почвы, формирующиеся под лесной растительностью Приполярного Урала, сильнокислые, 2,5 – 4,4 ед. pH_{H2O}. Минеральные горизонты обладают слабой насыщенностью основаниями (3–17 %). Максимальные концентрации углерода и азота выявлены для подстилок, в которых широкое отношение показателя C/N указывает на медленный процесс разложения растительного опада. Распределение содержания углерода носит аккумулятивный

характер. Также подзолы характеризуются накоплением соединений железа и алюминия в нижних иллювиальных горизонтах.

Денсиметрическое фракционирование позволяет разделить почву на 3 фракции: свободное ПОВ ($СОВ_{<1.6}$ с плотностью <1,6 г $см^{-3}$), окклюдированное ПОВ ($ООВ_{<1.6}$) и тяжелую фракцию ПОВ, связанного с минеральной матрицей ($ТФ_{>1.6}$). Было выявлено, что ПОВ состоит в основном из тяжелой фракции $ТФ_{>1.6}$ (до 97 %). Доля фракций $СОВ_{<1.6}$ составляет 0,47–1,53 %. Содержание окклюдированного органического вещества $ООВ_{<1.6}$ варьировало от 0,16 до 1,67 %. Однако именно легкие фракции свободного и окклюдированного ПОВ характеризуются высокими концентрациями углерода (до 41 %). Кроме этого, показано, что чем выше содержание легких фракций ПОВ, тем выше концентрация органического углерода в почвах.

Таблица 1. Содержание денсиметрических фракций в исследованных почвах

Участок	Горизонт	$СОВ_{<1,6}$			C/N	$ООВ_{<1,6}$			C/N	$ТФ_{>1,6}$			C/N
		Масс, %	C, %	C*		Масс, %	C, %	C*		Масс, %	C, %	C*	
ГЛ1	Ehi	0,47	37,3	5,2	37	1,67	41,0	20,4	41	96,06	2,6	74,4	14
	BF1	0,51	34,1	14,7	27	0,08	38,8	2,6	31	92,50	1,06	82,7	13
ГЛ2	E	1,03	26,9	23,7	38	0,58	37,0	18,3	80	93,15	0,73	58,0	11
	BF	0,66	31,8	28,9	36	0,29	6,5	2,6	24	95,67	0,52	68,5	11
ГЛ3	Ehi	1,08	18,6	16,0	29	0,29	26,2	6,0	40	87,53	1,12	78,0	12
	BF	0,32	18,1	7,0	36	0,23	9,8	2,7	42	91,85	0,8	90,3	11
ГЛ4	E	1,38	26,1	16,6	37	0,69	40,4	13,0	50	89,66	1,7	70,4	14
	BHF	1,53	17,1	10,7	36	0,16	34,0	2,2	30	97,28	2,2	87,1	16

Примечание. * вклад углерода отдельной фракции в общий углерод почвы.

ХГВ позволяет выделить 5 молекулярно-гомогенных фракций ПОВ. Гумусовые вещества (ГВ) первых двух фракций – гидрофильные (Hf). ГВ в составе третьей, четвертой и пятой фракций – гидрофобные (Hb). Гидрофильные фракции представлены насыщенными азотом низкомолекулярными алифатическими соединениями. Третья и четвертая фракции представлены более высокомолекулярными восстановленными органическими соединениями ароматической природы. При этом в четвертой фракции преимущественно присутствуют лигниноподобные соединения. Пятая фракция представлена ГВ, связанными с железом и алюминием. Проведенные исследования методом ХГВ позволили выявить, что распределение амфифильных фракций в значительной степени отражает характер распределения общего органического углерода с максимальным содержанием в органогенных горизонтах (первая фракция – 45–51 %, вторая – 1,2–17,1 %) (табл. 2).

Таблица 2. Содержание хроматографических фракций в минеральных горизонтах исследованных почв

Участок	Горизонт	Номер фракции					Сумма		Dh
		1	2	3	4	5	Hf	Hb	
ГЛ1	Ehi	37,0	6,6	47,9	8,4	0,1	43,5	56,5	0,8
	BF	40,2	5,6	11,3	5,8	37,1	45,8	54,2	0,8
ГЛ2	E	29,4	2,3	6,7	10,5	51,1	31,7	68,3	0,5
	BF	32,9	2,9	3,2	3,3	57,7	35,8	64,2	0,6
ГЛ3	Ehi	31,1	9,1	4,3	6,4	49,1	40,2	59,8	0,7
	BF	30,0	1,3	0,3	2,3	66,2	31,3	68,7	0,5
ГЛ4	E	63,9	4,5	12,5	16,4	2,6	68,5	31,6	2,2
	BHF	55,3	5,4	20,6	16,3	2,4	60,7	39,3	1,5

Примечание. Dh – степень гидрофильности, Hf – гидрофильные и Hb – гидрофобные фракции.

Верхние минеральные горизонты – с высоким содержанием первой гидрофильной фракции, от 30 до 64 %. Максимальное содержание пятой гидрофобной фракции (до 66 %) выявлено для иллювиально-железистых горизонтов. Для подзолов с наибольшей степенью гидрофильности (Dh) преобладают элювиальные горизонты (0,5–2,2), в иллювиальных и органогенных горизонтах значения несколько меньше (0,6–1,8). По отношению Hf/Hb выявлено преобладание гидрофобных фракций. Вероятно, это вызвано выносом из элювиальных горизонтов доли низкомолекулярных ПОВ, которые способствуют извлечению железа и алюминия в нижних горизонтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владыченский А.С., Богомолов Е.Г., Абысова О.Н.* Строение почвенного покрова высокогорий в горных системах суббореального и бореального поясов // Почвоведение. 2004. 12. С. 1519–1526.
2. *Гумусовые* вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения / Милановский Е.Ю. М.: Изд-во ГЕОС, 2009. 186 с.
3. *Полевой* определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
4. *Теория* и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М.: Изд-во ГЕОС, 2006. 400 с.
5. *Cerli C., Celi L., Kalbitz K., Guggenberger G., Kaiser K.* Separation of light and heavy organic matter fractions in soil. Testing for proper density cut-off and dispersion level // Geoderma. 2012. 170: 403–416.
6. *Grünewald G., Kaiser K., Jahn R., Guggenberger G.* Organic matter stabilization in young calcareous soils as revealed by density fractionation and analysis of lignin- derived constituents // Organic Geochemistry. 2006. 37: 1573–1589.
7. *Hutta M., Gora R., Halko R., Chalanyova M.* Some theoretical aspects in the separation of humic substances by combined liquid chromatography methods // Journal of Chromatography A. 2011. 1218: 8946–8957.
8. *Stoner M.G., Ugolini F.C.* Arctic pedogenesis: 2. Threshold-controlled subsurface leaching episodes // Soil Sci. 1988. 145: 46–51.
9. *Schmidt M.W.I., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I.A., Kleber M., Kögel-Knabner I., Lehmann J., Manning D.A.C., Nannipieri P., Rasse D.P., Weiner S., Trumbore S.E.* Persistence of soil organic matter as an ecosystem property // Nature. 2011. 478 (7367): 49–56.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-34-00618 мол_а.

УДК 630*884+630*114

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ГРИБНОЙ ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩЕЙ БИОТЫ В ГЕНЕЗИСЕ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ

В.Г. СТОРОЖЕНКО

Институт лесоведения РАН, Московская обл., Россия (lesoved@mail.ru)

Рассмотрены функциональные закономерности и физические величины участия дереворазрушающих грибов в круговороте биомассы лесных сообществ, в деструкции и формировании структур древостоев, в корректировке баланса накопления и разложения биомассы в генезисе лесов.

FUNCTIONAL TASKS OF THE FUNGAL WOOD-DEGRADING BIOTA IN THE GENESIS OF FOREST COMMUNITIES

V.G. STOROZHENKO

Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, Moscow Region, Russia (lesoved@mail.ru)

The article discusses the functional patterns and physical values of the participation of wood-destroying fungi in the biomass circulation of forest communities, in the destruction and formation of tree structures, in adjusting the balance of biomass accumulation and decomposition in the genesis of forests.

Грибная биота в современных представлениях о структуре и функционировании лесов рассматривается как важнейший консорт, определенный эволюцией биосферы для утилизации отмирающей и отмершей биомассы и регуляции ее баланса в глобальных циклах круговорота вещества и энергии планеты. В лесных сообществах грибная биота выполняет те же функции на более низком биогеоценотическом уровне. Изучение выработанных эволюцией закономерностей функционирования грибов следует рассматривать как базовую научную основу функционирования лесов, без учета которой невозможно оценить их участие в формировании в том числе искусственно создаваемых лесов. В.Н. Сукачев относил грибы наравне с вирусами, бактериями и другими микроорганизмами к структуре ценотического уровня в составе лесного биогеоценоза [7]. Более поздними исследованиями грибы как самостоятельное царство организмов отнесены в отдельную ценотическую структуру – микоценоз [1, 4, 5, 8]. В Институте лесоведения РАН идеи В.Н. Сукачева продолжают развиваться в различных областях биогеоценологии, в том числе в лесной фитопатологии и микологии. В нашем исследовании рассматривается консорт базидиальных грибов дереворазрушающего комплекса (ГДК) девственных ельников европейской тайги. В цикле круговорота биомассы лесного сообщества дереворазрушающие грибы участвуют как в составе формирующего звена цепи, вызывая гнили живых деревьев, так и в составе деструктивного звена, разлагая древесину валежа до состояния гумуса с выделением продуктов ксилолиза.

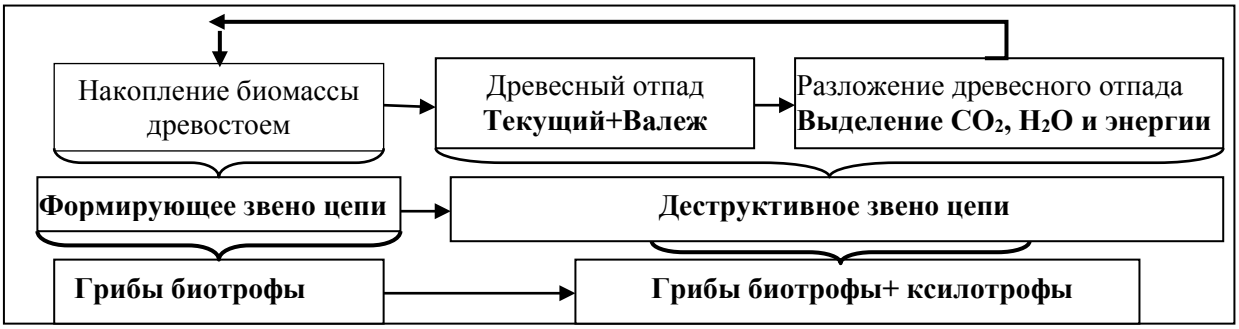


Рис. 1. Участие дереворазрушающих грибов в круговороте биомассы лесного биогеоценоза

Таким образом, выполнение основной функции дереворазрушающих грибов раскладывается на ряд детальных функциональных задач в динамике процессов формирования и деструкции лесов – ослабление деревьев фитоценоза, отмирание их определенной части и перевод в структуру текущего древесного отпада, накопление их в структуре валежа, скорость разложения древесного отпада, перевод его в консорцию верхних слоев почвы. Все это составляет единый, сбалансированный во времени с накоплением биомассы фитоценозом процесс функционирования коренного устойчивого лесного сообщества. Все перечисленные функциональные положения имеют конкретные числовые характеристики. Их оптимальные соотношения характеризуют сообщества климаксовых фаз динамики. Любые отклонения от таких оптимумов влекут за собой потерю качества устойчивости и зачастую катастрофические последствия для лесных экосистем.

Пораженность древостоев грибами ***биотрофного комплекса***. В организме коренного девственного лесного сообщества грибы биотрофного комплекса предназначены эволюцией для отбора определенного количества деревьев из состава древостоя в соответствии с динамикой сукцессионного развития лесного сообщества. В данном случае их участие нельзя рассматривать как болезнь леса. Это нормальное поведение одного из органов в живом организме лесного сообщества в динамике его развития.

Общая пораженность древостоев. Одним из основных показателей участия биотрофных грибов ГДК в функционировании лесного сообщества является пораженность древостоев гнилевыми фаутами в стволах деревьев фитоценоза. Средний показатель пораженности древостоев черничной группы типов леса в ельниках от южной до северной тайги составляет 22,6±2,0 %. Средний показатель пораженности деревьев текущего древесного отпада составляет 72,6±2,5 %, а средний показатель пораженности валежа – более чем 80±1,8 %. При этом в составе валежа представительство стволов бурелома от 2,6 до 3,8 раза больше, чем стволов ветровала. Эти данные связываются с участием ГДК в развитии гнилей стволов и корней.

Пораженность деревьев в возрастных поколениях связана с закономерным ослаблением деревьев по мере увеличения их возраста от последних поколений к первым (предельные возрасты). В числовом выражении пораженность деревьев в возрастном ряду увеличивается от единичной в последнем поколении до 50–80 % в первых поколениях. В этом случае грибы ГДК выполняют задачу отбора наиболее ослабленных деревьев из всех поколений возрастного ряда. При этом достигается несколько целей – снижается общая пораженность древостоя, выравнивается соотношение объемов деревьев в возрастных поколениях, корректируется баланс прироста биомассы древостоя и мортмассы древесного отпада.

Пораженность деревьев в мозаиках возрастных поколений. К одним из основных критериев, определяющих устойчивость коренных девственных лесов, относится мозаичность горизонтального размещения деревьев [2]. Каждая мозаика выделяется на площади лесного биогеоценоза по принципу включения в нее деревьев одного возрастного поколения. Мозаики различаются по присутствию в них деревьев других поколений (чистота мозаик). Индексом 1 обозначаются мозаики только одного возрастного поколения. Мозаичная структура леса определяет ряд важных позиций участия ГДК в формировании структур устойчивых лесов: различные уровни поражения деревьев в мозаиках разных возрастных поколений; разную интенсивность вывала пораженных деревьев в мозаиках разных возрастных поколений; неравномерность размещения естественного возобновления в окнах, освободившихся после вывала деревьев; неравномерное размещение стволов валежа на площади лесного сообщества, что влечет за собой формирование мозаичной структуры микоценоза, включающего и виды грибов других таксономических групп.

Структура грибной дереворазрушающей биоты биотрофов связывается с активностью грибного биогенного поля микоценоза. В эволюционной динамике лесов

формируется набор видов дереворазрушающих грибов, обеспечивающий баланс активности грибов биотрофов, относящихся к комплексам с различным набором ферментов, участвующих в разложении стенок клеток древесины: более активные виды ГДК биотрофов вызывают гнили коррозионного типа, менее активные – гнили деструктивного типа. К первым относятся виды губочного ряда, способные поражать деревья, относящиеся к любым возрастным поколениям возрастного ряда древостоев (еловая губка – *Porodaedalea chrysoloma* (Fr.) Fiasson et Niemelä; корневая губка – *Heterobasidion parviporum* Niemelä et Korhonen; еловая комлевая губка – *Onnia triqueter* (Lebz.) Imazeki; трутовик Гартига – Phellinus Hartigi (All. et Schnab.) Bond и виды рода Armillaria). Ко вторым – виды, в основном участвующие в поражении деревьев средних и старших возрастных поколений (северный трутовик – *Climacocystis borealis* (Fr.) Kotl. et Pouzar; трутовик Швейница – *Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat.). Наиболее оптимальным соотношением видов, вызывающих коррозионные и деструктивные гнили, можно признать пропорциональное равенство пораженных ими деревьев в древостоях. Как правило, такое соотношение характеризует древостой, близкий к фазе климакса.

Ксилотрофные грибы *дереворазрушающего комплекса.* Основные прямые функциональные задачи грибов этого комплекса заключаются в разложении древесного отпада, выделении продуктов ксилолиза – CO_2, H_2O и Q, переводе древесины отпада в гумус почвы. Эти задачи связаны с корректировкой структур древостоев: формированием мозаичной структуры древостоев после отпада пораженных деревьев; содействием естественному возобновлению коренной и сопутствующих пород, в том числе на разлагающихся стволах валежа. Состав видов ГДК ксилотрофов значительно шире, чем биотрофов. Основные виды ГДК комплексов биотрофов и ксилотрофов представлены в «Атласе-определителе…» [6].

Двуединая функциональная задача ГДК лесных сообществ лежит в области осмысления эволюционных задач грибного консорта. 1. В гетеротрофном консорте лесных сообществ грибы занимают ведущее положение по разложению отмершей биомассы продуцентов более чем на 90 % [3]. В то же время доказан в физических величинах факт прямого участия грибов в сохранении баланса биомассы в динамике сукцессионного развития лесных сообществ. 2. Изменение параметров величин участия ГДК в процессах разложения биомассы связано с их функциональной задачей корректировки структур продуцентов в процессах формирования баланса биомассы лесных сообществ, что напрямую связывается с формированием качества устойчивости лесных сообществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арефьев С.П.* Системный анализ биоты дереворазрушающих грибов. Новосибирск: Наука, 2010. 260 с.
2. *Проскуряков М.А*. Закономерности формирования пространственной структуры древостоев темнохвойных горных лесов Тянь-Шаня и Рудного Алтая: автореф. дисс. … д-ра биол. наук. Красноярск, 1982. 44 с.
3. *Соловьев В.А.* Микогенный ксилолиз, его экологическое и технологическое значение // Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М.: Наука, 1992. С. 140–171.
4. *Стороженко В.Г., Бондарцева М.А., Соловьев В.А., Крутов В.И.* Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М.: Наука, 1992. 221 с.
5. *Стороженко В.Г*. Микоценоз и микоценология. Тула: Гриф и К., 2013. 191 с.
6. *Стороженко В.Г., Крутов В.И., Руоколайнен А.В., Коткова В.М., Бондарцева М.А.* Атлас-определитель дереворазрушающих грибов лесов Русской равнины. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2016. 198 с.
7. *Сукачев В.Н.* Динамика лесных биогеоценозов // Избранные труды. Л.: Наука, 1972. Т. 1. С. 357–379.
8. *Черемисинов Н.А*. Микоценоз – компонент лесного биогеоценоза // Микология и фитопатология. 1973. Т. 7. В. 1. С. 34–38.

УДК 57.055

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА

В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ[1], А.В. КОВАЛЕВ[2], О.В. ТАРАСОВА[3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (soukhovolsky@yandex.ru)
[2] ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия (sunhi.prime@gmail.com)
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (olvitarasova2010@yandex.ru)

Рассмотрена динамика численности сибирского шелкопряда на территории Средней Сибири (бассейн Ангары) и Дальнего Востока. Динамика численности в двух далеко друг от друга отстоящих местообитаниях оказалась сходной. Обе популяции характеризуются двухлетним запаздыванием динамики, положительной обратной связью между численностями популяций в смежные годы и отрицательной обратной связью между численностями популяций, отстоящих друг от друга на два года. Отличие популяции сибирского шелкопряда на Дальнем Востоке от популяции этого же вида на Ангаре заключается в том, что динамика численности ангарской популяции зависела от температуры мая текущего года, тогда как динамика численности популяции сибирского шелкопряда на Дальнем Востоке определялась значениями чисел Вольфа в апреле – июне текущего года.

THE MODELING OF SIBERAN SILK MOTH POPULATION DYNAMICS

V.G. SOUKHOVOLSKY[1], A.V. KOVALEV[2], O.V. TARASOVA[3]

[1] V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (soukhovolsky@yanex.ru)
[2] FSC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (sunhi.prime@gmail.com)
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (olvitarsoav2010@yandex.ru)

The population dynamics of the Siberian silk moth in the territory of Central Siberia (Angara basin) and the Far East is considered. The population dynamics of the two far distant habitats turned out to be similar. Both populations are characterized by a two-year lag in dynamics, positive feedback between the population size in adjacent years, and negative feedback between population numbers two years apart. The differences between the Siberian silk moth population in the Far East and the population of the same species on the Angara are that the dynamics of the Angara population depended on the temperature of May this year, while the population dynamics of the Siberian silk moth in the Far East were determined by the Wolf numbers in April – June of the current year.

Сибирский шелкопряд – один из опаснейших вредителей лесов Сибири [1, 2, 5, 8, 9, 10, 12–15]. Так, лишь с начала XX в. по настоящее время только на территории Красноярского края произошло 9 мощных вспышек его массового размножения.

Для оценки рисков вспышек массового размножения этого вида необходимо выявить основные факторы динамики его численности, оценить влияние погоды на изменение плотности популяции, построить модель популяционной динамики, выполняющей роль своеобразного интегратора, с помощью которого вводятся в общую систему отдельные наблюдения, что позволяет описать как индивидуальные особенности отдельных видов лесных насекомых (тип многолетней динамики численности, особенности внутрипопуляционных взаимодействий и взаимодействий с паразитами и хищниками, восприимчивость к влиянию внешних факторов на популяционную динамику), так и общие закономерности популяционной динамики экологических групп насекомых [3].

Однако, несмотря на всю важность учетов сибирского шелкопряда для оценки рисков вспышек его массового размножения, достаточно длинные временные ряды динамики численности популяций этого вида практически отсутствуют. Это связано с тем, что вспышки массового размножения возникают обычно в отдаленных таежных районах, труднодоступных для проведения длительных учетов (особенно до возникновения вспышки). В нашем распоряжении имеется всего два достаточно

длинных ряда динамики численности – ряд с 1951 по 1969 г. [6, 7] в темнохвойных лесах Красноярского края и ряд динамики численности вредителя с 1975 по 1996 г. в лесах Хабаровского края [16].

Ранее было предложено для моделирования динамики численности лесных насекомых в условиях, когда известны лишь данные по динамике численности моделируемого вида и погодные условия на территории, использовать так называемые ADL (autoregressive distributed lag) модели [4, 17]:

$$\ln x(i) = a_0 + \sum_{j=1}^{k} a_j \ln x(i-j) + \sum_{m=0}^{u} b_m W(i-m) \quad , \qquad (1)$$

где $x(i)$ – плотность популяции вредителя в i-м году; $a_0 + \sum_{j=1}^{k} a_j \ln x(i-j)$ – авторегрессионная (AR) составляющая уравнения (1), характеризующая влияние популяций k предыдущих лет на текущую численность популяции (можно говорить о запаздывании временного ряда динамики численности популяции), $W(i)$ – выбранные погодные характеристики в i-м году; k, u, a_j, b_m – константы.

Уравнение (3) следует рассматривать как линейное регрессионное уравнение, для которого нужно оценить порядки k и u членов в правой части, а затем с помощью стандартной процедуры нахождения коэффициентов линейных регрессионных уравнений вычислить коэффициенты a_j и b_m.

Для оценки влияния модифицирующих факторов использовались данные с метеостанций, расположенных вблизи очагов массового размножения изучаемых популяций сибирского шелкопряда – метеостанции в Енисейске (58°27′00″ с. ш., 92°09′00″ в. д.) и метеостанции в Елабуге (56°16′48″ с. ш., 90°30′00″ в. д.). В качестве погодных показателей были выбраны среднемесячные температуры и количество осадков, а также ГТК (гидротермический коэффициент) Селянинова – отношение среднемесячного количества осадков к среднемесячной температуре [18].

Для оценки качества модели используются четыре критерия: значение коэффициента детерминации R^2 должно быть близко к 1; значения коэффициентов регрессионного уравнения (1) – значимыми согласно t-критерию; трансформированный ряд данных учетов и модельный ряд должны быть синхронны (синхронность оценивается по характеристикам кросс-корреляционной функций между этими рядами); ряд остатков между значениями ряда данных учетов и модельного ряда должен быть некоррелированным и обладать свойствами белого шума, что оценивается, например, по критерию Дики – Фуллера [11]. Если модель отвечает всем этим критериям, можно говорить о том, что она адекватно характеризует динамику изучаемой популяции.

Проведенные модельные расчеты показали, что характер динамики численности сибирского шелкопряда в двух далеко друг от друга отстоящих местообитаниях оказался сходным. Обе популяции характеризуются двухлетним запаздыванием динамики, положительной обратной связью между численности популяции в смежные годы и отрицательной обратной связью между численностями популяций, отстоящих друг от друга на два года. Отличия популяции сибирского шелкопряда на Дальнем Востоке от популяции этого же вида на Ангаре заключаются в том, что динамика численности ангарской популяции зависела от температуры мая текущего года, тогда как динамика численности популяции сибирского шелкопряда на Дальнем Востоке определялась значениями чисел Вольфа в апреле – июне текущего года. Трудно объяснить физический механизм локального влияния солнечной активности на динамику численности вредителя, однако статистические расчеты указывают на наличие такой связи. Предложенные модели можно использовать для прогноза

вспышек массового размножения по данным мониторинга численности популяций вредителя и значений модифицирующих факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Болдаруев В.О.* Динамика численности сибирского шелкопряда и его паразитов. Улан-Удэ, 1969. 164 с.
2. *Ивлиев Л.А.* Новые данные к познанию очагов сибирского шелкопряда на Амуре // Вопросы сельского и лесного хозяйства Дальнего Востока. Вып. 3. Владивосток, 1961. С. 3–19.
3. *Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г., Кондаков Ю.П., Недорезов Л.В., Киселев В.В., Суховольский В.Г.* Популяционная динамика лесных насекомых М.: Наука, 2001. 374 с.
4. *Исаев А.С., Пальникова Е.Н., Суховольский В.Г., Тарасова О.В.* Динамика численности лесных насекомых-филлофагов: модели и прогнозы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 262 с.
5. *Коломиец Н.Г.* Паразиты и хищники сибирского шелкопряда. Изд-во СО АН СССР. Новосибирск, 1962. 174 с.
6. *Кондаков Ю.П.* Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда // Экология популяций лесных животных Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. С. 206–265.
7. *Кондаков Ю.П.* Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края // Энтомологические исследования в Сибири. Вып. 2. Красноярск: РЭО, 2002. С. 25–74.
8. *Куренцов А.И.* Сибирский шелкопряд на Амуре // Труды ДВФ АН СССР. Сер. зоол. 1953. Т. 2. С. 3–19.
9. *Надзор*, учет и прогноз массовых размножений хвое- и листогрызущих насекомых в лесах СССР. М.: Лесн. пром-ть, 1965. 528 с.
10. *Наконечный В.И., Челышева Л.П., Малоквасова Т.С., Жарикова Н.А., Арефьев Ю.Ф., Михайлов А.Д., Шуйская И.В., Гитлиц Р.В.* О вспышке массового размножения сибирского шелкопряда в лиственничных лесах Хабаровского края // Тр. ДальНИИЛХ. 1974. Вып. 16. С. 170–179.
11. *Подкорытова О.А., Соколов М.В.* Анализ временных рядов. М.: Юрайт, 2016. 266 с.
12. *Прозоров С.С.* Сибирский шелкопряд в пихтовых лесах Сибири // Тр. СибЛТИ. Красноярск, 1952. Т. 7. Вып. 3. С. 93–132.
13. *Рожков А.С.* Сибирский шелкопряд. Изд-во АН СССР. М., 1963. 175 с.
14. *Эпова В.И., Плешанов А.С.* Зоны вредоносности насекомых-филлофагов Азиатской России. Новосибирск: Наука, 1995. 47 с.
15. *Юрченко Г.И., Бушмелев И.В.* К методике учета сибирского шелкопряда на стадиях гусеницы и куколки в кедрово-широколиственных лесах // Тр. ДальНИИЛХ. 1989. Вып. 31. С. 125–135.
16. *Юрченко Г.И., Турова Г.И.* Сибирский и белополосый шелкопряды на Дальнем Востоке. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2007. 106 с.
17. *Isaev A.S., Soukhovolsky V.G., Tarasova O.V., Palnikova E.N., Kovalev A.V.* Forest insect population dynamics, outbreaks and global warming effects. N.Y.: Wiley and Sons, 2017. 286 p.
18. [Электронный ресурс.] URL: http://meteo-dv.ru/geospace/AverageMonthW.

УДК 57.033

СМЕРТНОСТЬ ГУСЕНИЦ НАСЕКОМЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ: МОДЕЛЬ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ВТОРОГО РОДА

В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ[1], Е.А. ЧЕРТКОВА[2], О.В. ТАРАСОВА[3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (soukhovolsky@yandex.ru)
[2] Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (olvitarasova2010@yandex.ru)

Предложена математическая модель, описывающая смертность насекомых-филлофагов под воздействием таких факторов, как бакуловирусы, бактерии, грибы, химические соединения. Отмечается универсальность предложенной модели и возможность использовать полевые данные для верификации модели.

MORTALITY OF INSECT UNDER EXPOSURE TO DIFFERENT FACTORS: A SECOND-ORDER PHASE TRANSITION MODEL

V.G. SOUKHOVOLSKY[1], E.A. CHERTKOVA[2], O.V. TARASOVA[3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (soukhovolsky@yandex.ru)
[2] Institute of animal's systematics and ecology SB RAS, Novosibirsk, Russia
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (olvitarasova2010@yandex.ru)

A mathematical model describing the mortality of phyllophagous insects under the influence of such factors as baculoviruses, bacteria, fungi, and chemical compounds has been proposed. The universality of the proposed model and the ability to use field data to verify the model are noted.

Вспышки массового размножения насекомых-вредителей наносят огромный экологический и хозяйственный ущерб лесным насаждениям. В связи с этим разработка эффективных мер борьбы с насекомыми-вредителями крайне важна для сохранения лесных насаждений. Для подавления численности насекомых-вредителей используются различные химические и биологические средства борьбы [1, 2]. При этом анализ смертности лесных насекомых под влиянием различных болезнетворных факторов (химических веществ, бактерий, вирусов, грибов и т. п.) крайне важен для оценки влияния этих факторов на динамику численности популяции лесных насекомых-вредителей и разработки стратегий воздействия на популяции в ходе вспышек массового размножения вредителей.

К сожалению, эксперименты и натурные наблюдения за воздействием внешних факторов на смертность особей в популяции достаточно трудны технически. Для упрощения оценок смертности необходимы определенные теоретические представления о динамике смертности под воздействием внешних факторов [5, 6]. Однако существующие теоретические модели на основе систем дифференциальных уравнений малопригодны для практического применения в связи с большим числом переменных и свободных параметров [7, 8].

В связи с этим в настоящей работе рассмотрена унифицированная и достаточно простая модель смертности насекомых под воздействием различных факторов, основанная на использовании аналога модели фазовых переходов второго рода [3, 4].

Согласно этой модели, имеет место связь между квадратом доли q живых особей в популяции и временем T после заражения особей:

$$q^2 = \begin{cases} 1, & T \le T_0 \\ A - bT, & T_0 < T \le T_c \\ 0, & T > T_c \end{cases} . \qquad (1)$$

Согласно модели (1), важными популяционными показателями восприимчивости насекомых-хозяев к воздействию внешних факторов являются такие характеристики, как латентное время T_0 заражения (интервал времени между началом воздействия вирусов и смертью первой особи), скорость гибели b особей в популяции и критическое время T_c гибели 100 % особей. Можно также оценить летальное время гибели 50 % особей в популяции $LT_{50} = (A-0,25)/b$.

Для проверки модели использовались собственные данные авторов о динамике смертности особей большой вощинной огневки *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae), капустной совки *Mamestra brassicae* L. (Lepidoptera: Noctuidae), колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae) при заражении штаммами энтомопатогенных грибов *Metarhizium robertsii* J.F. Bisch., Rehner & Humber из коллекции ИСиЭЖ СО РАН (штамм Р-72) и Всероссийского института защиты растений РАСХН (штамм МАК-1), бактериями *Bacillus thuringiensis* ssp. morrisoni (H8 ab) Bonnifoi and de Barjak var. tenebrionis Krieg et al. (штамм 2495) из коллекции микроорганизмов ИСиЭЖ СО РАН и воздействии пиримифос-метила (ПМФМ), а также литературные данные о заражении бакуловирусом *Spodoptera frugiperda* multicapsid личинок осеннего армейского червя *Spodoptera frugiperda* [8].

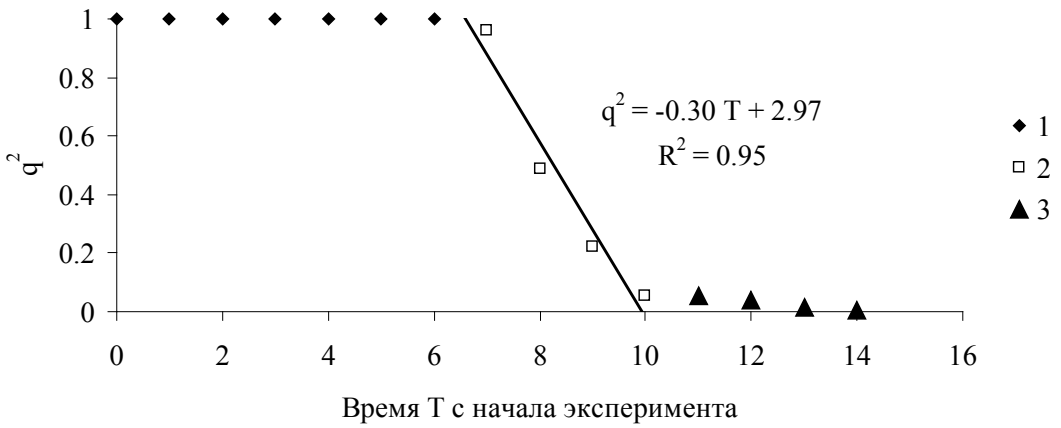


Рис. 1. Динамика смертности насекомых под воздействием гриба *M. robertsii*

Как видно из рис. 1, латентное время $T_0 = 6,57$ суток, скорость вымирания гусениц $b = 0,3$ доли популяции/сутки, время полной гибели $T_c = 9,9$ суток. Также можно вычислить $LT_{50} = 9,1$ суток.

В табл. 1 приведены параметры модели (1) для случаев раздельных воздействий на насекомых гриба *M. robertsii* и химического препарата ПМФМ, а также совместного воздействия *M. robertsii* и ПМФМ.

Как видно из табл. 1, все кривые смертности очень хорошо (R^2>0,95) описываются моделью фазовых переходов (1). При этом можно оценить интенсивность раздельного и совместного воздействия гриба и химического препарата и заключить, что совместное воздействие более эффективно.

В эксперименте [8] оценивалась смертность после заражения бакуловирусом *Spodoptera frugiperda* multicapsid личинок осеннего армейского червя *Spodoptera frugiperda*. В эксперименте для питания использовались листья соевых бобов разных генотипов. Для каждого генотипа соевых бобов оценивалась доля *q* выживших особей *S. frugiperda* на моменты времени T. Коэффициенты уравнения (1) находились по регрессионному уравнению для пар (T, q^2). На рис. 2 в качестве примера приведена кривая смертности личинок *S. frugiperda* для генотипа Braxton [8].

Таблица 1. Воздействия на насекомых гриба *M. robertsii*, химического препарата ПМФМ, а также совместного воздействия *M. robertsii* и ПМФМ

параметры модели (1)	Воздействие		
	M. robertsii	ПМФМ	ПМФМ+ *M. robertsii*
B	0,33	0,30	0,24
A	2,94	2,97	2,02
R^2	0,96	0,95	1,00
T_c	8,91	9,95	8,44
T_0	5,88	6,60	4,26
LT_{50}	8,15	9,11	7,39

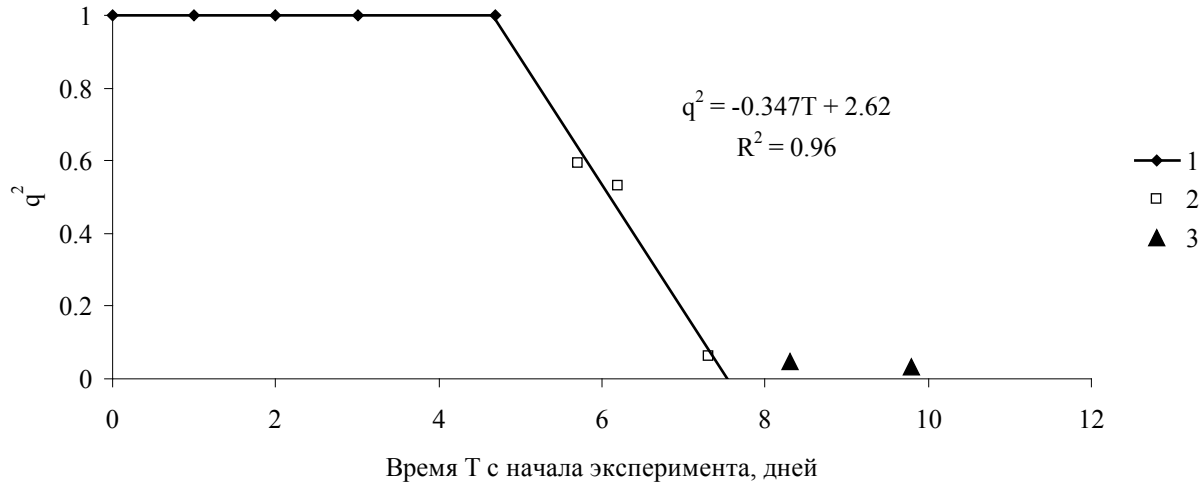


Рис. 2. Кривая смертности личинок насекомых после заражения бакуловирусом. 1 – латентный период, 2 – период смертности особей, 3 – период после смерти всех особей в популяции

Как видно из рис. 2, данные экспериментов хорошо согласуются с моделью (1). В табл. 2 указан результат расчетов по данным, приведенным в [8], кривых смертности согласно модели (1) для разных генотипов кормового растения

Таблица 2. Параметры уравнений смертности насекомых под воздействием бакуловирусов

Параметр уравнения (1)	генотип кормового растения								
	Bragg	Gasoy	Tracy	Braxton	Clark	Cook	Davis	Stonewall	Willians
b	0,76	0,37	0,36	0,35	0,49	0,47	0,54	0,82	0,72
A	5,56	2,98	2,86	2,65	3,53	3,47	4,01	5,56	5,08
R^2	0,97	0.,96	0,94	0,98	0,97	1,00	1,00	1,00	0,99
T_c	7,28	8,08	7,88	7,53	7,23	7,35	7,45	6,79	7,05
T_0	5,97	5,36	5,12	4,69	5,18	5,23	5,59	5,57	5,66
LT_{50}	6,99	7,38	7,25	6,86	6,69	6,85	6,96	6,48	6,71

Как видно из табл. 2, кривые смертности хорошо описываются уравнением (1). Величины коэффициентов детерминации R^2 регрессионных уравнений весьма близки к 1. Из табл. 2 следует, что характеристики кривых смертности для разных генотипов кормовых растений различались. Это указывает на то, что смертность особей в популяции под воздействием бакуловирусов может варьировать в зависимости от состояния кормового растения. Подобный эффект может объяснить различный уровень смертности гусениц при заражении бакуловирусами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бахвалов С.А.* Биологическое подавление популяции шелкопряда-монашенки в Западной Сибири: опыт применения и анализ результатов // Сиб. экол. ж. 1995. Вып. 2. № 5. С. 466–473.
2. *Ильиных А.В., Кузьминов С.В., Ульянова Е.Г., Ильиных Ф.А., Кожоев Ш.С.* Влияние полиэдроза на популяцию непарного шелкопряда и шелкопряда монашенки // Защита и карантин растений. 2005. № 3. С. 53–54.
3. *Ландау Л.Д. К* теории фазовых переходов // ЖЭТФ. 1937. Т. 7. С. 19–32.
4. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Статистическая физика. М.: Наука, 1964. 567 с.
5. *Cox D.R., Oakes D.* Analysis of survival data. 1984. Boca Raton: CRC Press. 201 p.
6. *Kleinbaum D.G., Klein M.* Survival analysis: a self-learning text. New York: Springer Science & Business Media, 2006. 240 p.
7. *Saxena A., Byram P.K., Singh S.K., Chakraborty J., Murhammer D., Giri L.* A structured review of baculovirus infection process: integration of mathematical models and biomolecular information on cell-virus interaction // J. General Virology. 2018. 99: 1151–1171. DOI: 10.1099/jgv.0.001108.
8. *Shrestha S., Elderd B.D., Dukic V.* Bayesian-based survival analysis: inferring time to death in host-pathogen interactions // Environmental and Ecological Statistics. 2019. 26: 17–45.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-04-00197-а.

УДК 630* 232.31

ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА И ЛЕСОСЕМЕННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ *PINUS SYLVESTRIS* L.

В.В. ТАРАКАНОВ[1, 2], К.Г. ЗАЦЕПИНА[1], А.К. ЭКАРТ[3], Л.И. КАЛЬЧЕНКО[4]

[1] Западно-Сибирское отделение Института леса им. В.Н. Сукачева СО, Новосибирск, Россия (tarh012@mail.ru)
[2] Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
[3] Центр защиты леса Новосибирской области, Новосибирск, Россия (rvr79@mail.ru)
[4] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (aekart@yandex.ru)
[5] Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Алтайского края», Барнаул, Россия (kalchenkoli@rcfh.ru)

В идеале лесосеменное районирование должно быть основано на знании пространственной популяционной структуры видов. Районирование 1982 г. основывалось на имеющихся данных о географической изменчивости видов и физико-географической дифференциации территории. Во втором десятилетии XXI века появилась возможность уточнения границ лесосеменных районов с учетом данных по анализу географических культур и дифференциации популяций по фенам генеративных органов, аллозимным и ДНК-маркерам. Однако эта информация не была учтена при разработке нового районирования 2015 г., что обнаруживается при анализе соответствия между популяционной структурой и лесосеменными районами сосны обыкновенной.

POPULATION STRUCTURE AND FOREST-SEED ZONING OF *PINUS SYLVESTRIS* L.

V.V. TARAKANOV[1, 2], R.V. ROGOVTSEV[3], K.G. ZATSEPIN[1], A.K. EKART[4], L.I. KALCHENKO[5]

[1] West-Siberian Branch of the Sukachev Institute of Forest SB RAS, Novosibirsk, Russia (tarh012@mail.ru)
[2] Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
[3] Novosibirsk Forest Protection Center, Novosibirsk, Russia (rvr79@mail.ru)
[4] Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (aekart@yandex.ru)
[5] Altai Forest Protection Center, Barnaul, Russia (kalchenkoli@rcfh.ru)

Ideally, forest seed zoning should be based on knowledge of the spatial population structure of the species. The 1982 forest seed zoning was based on the available data on the geographic variability of species and the physical-geographical differentiation of the territory. In the second decade of the 21st century, it became possible to clarify the boundaries of forest seed areas, taking into account data on the analysis of geographic trees trials and population differentiation by phenes, allozyme and DNA markers. However, this information was not taken into account when developing a new regionalization of 2015, which is found in the analysis of the correspondence between the population structure and forest seed areas of Scots pine.

В идеале границы лесосеменного района должны совпадать с границами популяции вида [4, 14]. С практической точки зрения простым и удобным правилом является использование при восстановлении лесов семян исключительно местных насаждений (локальных популяций) [5]. Однако в реальной ситуации (например, при крупных пожарах или других стихийных бедствиях) уничтоженный участок леса может находиться на территории нескольких локальных популяций. В этом случае без знания естественно-исторической сложившейся популяционной структуры вида (лесосеменного районирования) обеспечить ее сохранение при лесовосстановлении невозможно. Нарушение правил переброски семян приводит не только к экономическим потерям ввиду снижения продуктивности насаждений, выросших из

инорайонных семян, что давно известно лесоводам [9], но и к отрицательным популяционно-генетическим последствиям [12, 15].

По причине изложенного разработка лесосеменного районирования основных лесообразующих пород является исключительно важной государственной задачей. В этой связи крупным достижением отечественной лесной науки были подготовка, утверждение и публикация в 1982 г. соответствующих правил перемещения семян в виде книги «Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР». В их основу были положены, прежде всего, имеющиеся на тот период данные по географической изменчивости древесных пород и физико-географической неоднородности территории, отраженные в различных районированиях (лесохозяйственном, лесорастительном, геоботаническом, агроклиматическом, почвенном, геоморфологическом, физико-географическом). Несмотря на отсутствие в то время данных о генетической дифференциации популяций, это районирование соответствовало сложившемуся представлению о популяции «как естественно-исторической структуре» и «эколого-генетической общности» [3, 4] и создавало основу для регулирования перемещения семян и дальнейшего уточнения границ лесосеменных районов по мере накопления информации о дифференциации популяций.

Что касается последнего, то к настоящему времени получены ценнейшие данные о географической и межпопуляционной изменчивости лесообразующих видов, в первую очередь сосны обыкновенной, по количественным признакам, а также по фенетическим, аллозимным и ДНК-маркерам [1, 2, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 16]. Учет такого рода информации мог бы существенно повысить точность выделения лесосеменных районов сосны.

Однако, как показал проведенный анализ, эта возможность не была должным образом использована разработчиками нового «укрупненного» лесосеменного районирования, введенного приказом Рослесхоза № 353 в октябре 2015 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Видякин А.И.* Популяционная структура сосны обыкновенной на востоке европейской части России: автореф. дисс. … докт. биол. наук: 03.00.16 «Экология». Екатеринбург, 2004. 48 с.
2. *Видякин А.И., Семериков В.Л., Полежаева М.А., Дымшакова О.С.* Распространение гаплотипов митохондриальной ДНК в популяциях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на севере Европейской России // Генетика. 2012. Т. 48. № 12. С. 1440–1444.
3. *Глотов Н.В.* Популяция как естественно-историческая структура // Генетика и эволюция природных популяций растений / Дагестан. фил. АН СССР. Махачкала, 1975. С. 17–25.
4. *Глотов Н.В.* Оценка генетической гетерогенности природных популяций: количественные признаки // Экология. 1983. № 1С. 3–10.
5. *Горошкевич С.Н.* Генофонд кедра сибирского: сохранение, исследование, резервация и использование для селекции сортов // Опыт создания и проблемы развития единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК) в Сибири. Новосибирск: Филиал ФГУ «Российский центр защиты леса» ЦЗЛ Новосибирской области, 2008. С. 40–56.
6. *Зацепина К.Г., Тараканов В.В., Кальченко Л.И., Экарт А.К., Ларионова А.Я.* Дифференциация популяций сосны обыкновенной в ленточных борах Алтайского края, выявленная с применением маркеров различной природы // Сибирский лесной журнал. 2016. № 5. С. 21–32.
7. *Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р.* Отбор перспективных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в красноярском Приангарье // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27. № 1–2. С. 115–119.
8. *Политов Д.В.* Применение молекулярных маркеров в лесном хозяйстве для идентификации, инвентаризации и оценки генетического разнообразия лесных ресурсов // Лесохозяйственная информация. 2008. № 3–4. С. 24.

9. *Правдин Л.Ф.* Сосна обыкновенная (изменчивость, внутривидовая систематика и селекция). М.: Наука, 1964. 189 с.
10. *Путенихин В.П.* Популяционная структура и сохранение генофонда хвойных видов на Урале: автореф. дисс. … докт. биол. наук: 06.03.01. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2000. 51 с.
11. *Роговцев Р.В., Тараканов В.В., Ильичев Ю.Н.* Продуктивность географических культур сосны в условиях среднеобского бора // Лесное хоз-во. 2008. № 2. С. 36–38.
12. *Ромедер Э., Шенбах Г.* Генетика и селекция лесных пород. М.: Сельхозиздат, 1962. 268 с.
13. *Санников С.Н., Петрова И.В., Санникова Н.С., Афонин А.Н., Чернодубов А.И., Егоров Е.В.* Генетико-климатолого-географические принципы семенного районирования сосновых лесов России // Сибирский лесной журнал. 2017. № 2. С. 19–30.
14. *Семериков Л.Ф.* Популяционная структура древесных растений. М.: Наука, 1986. 140 с.
15. *Семериков Л.Ф., Исаков Ю.Н., Тараканов В.В., Семериков В.Л., Глотов Н.В.* О генетико-селекционном аспекте сохранения и улучшения лесов России // Лесохоз. инф. н.-т. информ. сб. М.: ВНИИЦлесресурс, 1998. № 9–10. С. 3–12, 29–40.
16. *Шутяев А.М.* Изменчивость хвойных видов в испытательных культурах Центрального Черноземья. М., 2007. 296 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках базового проекта № 0356-2019-0024.

УДК 575.174.015.3: 630*17:582.475.4

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ РЕДКИХ АЛЛЕЛЕЙ АЛЛОЗИМНЫХ МАРКЕРОВ У ПОДРОСТА В ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ РАЗНЫМ ВИДАМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ В КРАСНОЯРСКОЙ, КАНСКОЙ И АЧИНСКОЙ ЛЕСОСТЕПЯХ

И.В. ТИХОНОВА[1], А.К. ЭКАРТ[2], А.Н. КРАВЧЕНКО[2], Н.А. ТИХОНОВА[2], Д.А. СЕМЕНЯКИН[2]

[1] Западно-Сибирское отделение Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Новосибирск, Россия (selection@ksc.krasn.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (aekart@yandex.ru, kravchenko-anna.n@yandex.ru, fenix-sun@yandex.ru, denis8880@inbox.ru)

Представлены результаты исследования аллозимной изменчивости в популяциях сосны обыкновенной, произрастающих в пригородных и припоселковых сосняках Красноярской, Канской и Ачинской лесостепей Средней Сибири. Исследованы генетическое разнообразие и встречаемость редких аллелей полиморфных локусов у подроста сосны в местах рубок разной интенсивности.

THE MEETINGS OF RARE ALLELES OF ALLOZYME MARKERS AT THE SEEDLINGS IN POPULATIONS OS SCOTS PINE, EXPOSED TO DIFFERENT TYPES OF ANTHROPOGENIC LOAD IN KRASNOYARSK AND KANSKO-ACHINSKY FOREST-STEPS

I.V. TIKHONOVA[1], A.K. EKART[2], A.N. KRAVCHENKO[2], N.A. TIKHONOVA[2], D.A. SEMENYAKIN[2]

[1] West-Siberian Branch of the V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Novosibirsk, Russia (selection@ksc.krasn.ru, kseniya-zacepina@yandex.ru)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (aekart@yandex.ru, kravchenko-anna.n@yandex.ru, fenix-sun@yandex.ru, denis8880@inbox.ru)

The results of the study of allozyme variability of seedlings in populations of Scots pine, growing in suburban and near-village pine forests of Krasnoyarsky, Achinsky and Kansky forest-steppes of Central Siberia are presented. Samples of seedlings of preliminary and subsequent generations of reproduction on sites of cuttings of varying intensity are compared with seedlings of intact tree stands.

Как известно, Красноярская, Ачинская и Канская лесостепи Средней Сибири со всех сторон окружены тайгой [2, 5]. Леса играют ведущую роль в составе их растительного покрова [1], а лесистость составляет 20–50 %. Характерной чертой объектов является сокращение доли распаханных земель, повышение лесистости территории с постепенным переходом в подтайгу и далее тайгу по мере удаления от городов и основных транспортных магистралей. Все это указывает на антропогенное происхождение северных лесостепей Средней Сибири, появившихся в результате освоения лесов южной тайги [6, 8, 11]. Необходимо отметить, что в составе лесов здесь преобладают березняки и сосново-березовые леса, доля чистых сосняков невелика. Тем выше их ценность как возможных центров возобновления светлохвойных лесов при смене экономической и лесохозяйственной политики России на более рациональную национальную – ресурсосберегающую.

Интенсивной эксплуатации подвержены не только пригородные леса лесостепной зоны, но и значительная часть таежных лесов Сибири в целом [11, 3, 12]. При этом многие фундаментальные научные проблемы лесопользования мало изучены. Например, недостаточно изучено влияние разных антропогенных факторов на показатели генетического разнообразия популяций видов. Не разработаны методические подходы к мониторингу генетического разнообразия лесных древесных видов. Не исследованы

пределы допустимого сокращения генетического разнообразия популяций. Некоторыми исследователями подтверждается достоверное влияние лесохозяйственной деятельности человека на генетические процессы в популяциях древесных растений [13, 14, 7].

Цель данного исследования – изучить генетическое разнообразие аллозимов (изоферментов) в сосняках северных лесостепей Средней Сибири и оценить влияние рубок и рекреационной нагрузки на показатели генетического разнообразия подроста. Исследования охватывают основные крупные сосновые массивы пригородных лесов в окрестностях населенных пунктов Красноярск, Ачинск, Назарово, Погорелка, Большая Мурта, Юксеево, Березовка, Есаулово, Рыбное, Гмирянка, Канск. Всего проанализировано 28 выборок по 25–30 деревьев в каждой, в их числе 6 выборок подроста на месте сплошных и выборочных рубок разной интенсивности. Всего проанализировано 20 локусов, 17 из них полиморфны. Оценена встречаемость в них редких аллелей: ***Mdh-2*^{83}**, *Mdh-4*^{90}, *Got-1*^{107}, *Got-2*^{148}, ***Got-3*^{42}**, *Got-3*^{505}, ***Skdh-1*^{10,85,90,93,98}**, ***Skdh-2*^{86}**, ***Lap-1*^{103}**, ***Lap-2*^{105,98,103}**, ***6-Pgd-2*^{67,91}**, *Fdh* ^{45,206}, ***Pgm-1*^{93,95}**, *Adh-1*^{112,116}, ***Fe-2*^{85,113}** (*жирным шрифтом выделены 10 очень редких аллелей, подчеркнуты 7 отсутствующих аллелей*).

Установлено, что исследуемые популяции сосны обыкновенной находятся в состоянии относительного генетического равновесия. В обобщенном многолокусном анализе достоверное превышение гомозиготных генотипов над ожидаемым их числом обнаружено для локусов *Mdh-3, Got-2, Skdh-1, Adh-2* (p<0,029-0,0001, χ^2=6,77-95,82). Достоверные отклонения от равновесия Харди – Вайнберга при полокусном анализе отмечены в 14 выборках по 1–2, в 2 – по 3 и 4 локусам. На долю межпопуляционных различий приходится 1,5 % изменчивости аллозимов, внутри популяций остается 98,5 %. Различия между группами популяций Красноярской, Ачинской и Канской лесостепей составляют только 0,2 % генетической изменчивости, внутри каждой группы различия между популяциями достигают 0,8 %. Такая низкая генетическая дифференциация в общем характерна для вида [10, 4, 9, 15]. Основные показатели генетической изменчивости популяций варьируют в пределах: P=70–80 %, N_A=2,15–2,50, N_E=1,286–1,434, H_O=0,190–0,245; H_E=0,191–0,243). Из 71 аллеля, обнаруженного в популяциях сосны обыкновенной на территории Сибири за все время исследований аналогичного набора локусов, в популяциях северных лесостепей Средней Сибири выявлено 64 аллеля, в том числе 33 общих для всех выборок. Остальные (необщие) встречаются реже, с частотой 1,2–5,6 %, наиболее редкие 25 перечислены выше. Самое высокое разнообразие редких аллелей наблюдается в Погорельском бору и в парке «Железнодорожников» г. Ачинска (рис. 1). В объединенных по географическому расположению выборках большее число редких аллелей встречается во всех направлениях с удалением от г. Красноярска, из них максимальное – в северном направлении (Красноярская лесостепь).

В результате анализа связи показателей генетической изменчивости выборок со степенью и характером антропогенных воздействий на сосновые леса установлено, что генетическая структура и разнообразие аллозимов в популяциях вида сохраняются при низком и среднем уровне рекреационной нагрузки. То же можно отметить в отношении выборочной рубки низкой интенсивности (30–35 %) и узколесосечной рубки. По сравнению с ними при рубках более высокой интенсивности (53 % и сплошной массивной рубке) число редких аллелей у подроста, соответственно, в 2 и 3 раза меньше, что равносильно сокращению общего числа аллелей у подроста на 12 % и 16 %. В условиях больших лесных массивов (при небольшой площади рубок) это разнообразие может быстро восстанавливаться, однако возможен постепенно накапливаемый эффект обеднения генофонда популяций лесостепей в связи с их изолированным положением и сокращением потока генов извне. Отмеченное нами меньшее суммарное число аллелей в лесостепных борах – на 10 % – при невысоком уровне дифференциации популяций вида также может быть следствием этого процесса. В наиболее нарушенных рубками

популяциях выявлены самый низкий уровень гетерозиготности особей, высокие значения коэффициента инбридинга (F), наименьшее число аллелей (изоформ ферментов), что в дальнейшем может привести к снижению продуктивности и устойчивости новых поколений деревьев. Для генетического мониторинга пригородных лесов лесостепной зоны необходимо ввести поправочные коэффициенты к показателям степени обеднения генофонда с учетом степени изолированности и эффективной численности популяций.

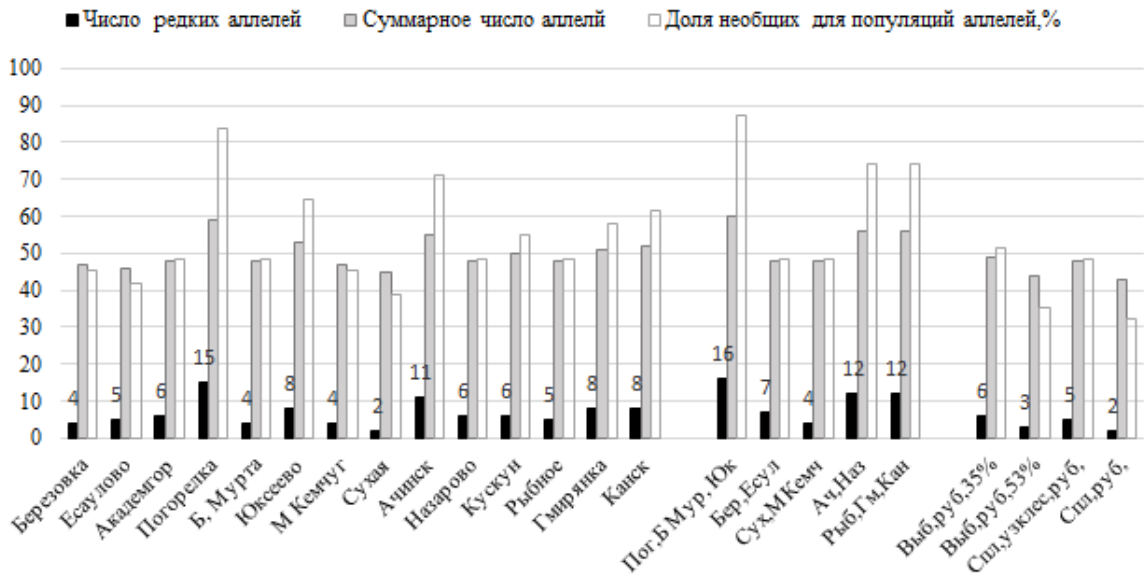


Рис. 1. Разнообразие аллелей в популяциях и группах популяций сосны обыкновенной

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антипова Е.М.* Флора внутриконтинентальных островных лесостепей Средней Сибири. Красноярск: Красноярский гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева, 2012. 662 с.
2. *Берг Л.С.* Географические зоны Советского Союза. М.: Изд-во ОГИЗ, 1947. 397 с.
3. *Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С.* Ресурсно-экологический потенциал лесов Красноярского края // Хвойные бореал. зоны. 2008. Т. XXV. № 3–4. С. 327–332.
4. *Гончаренко Г.Г., Дробышевская В.В., Силин А.Е. и др.* Генетические ресурсы сосен России и сопредельных государств //Доклады РАН. 1996. Т. 346. № 3. С. 419–423.
5. *Лиханов Б.Н.* Природное районирование // Средняя Сибирь. М.: Наука, 1964. С. 327–383.
6. *Леса* СССР: Леса Урала, Сибири и Дальнего Востока / под ред. А.Б. Жукова. М.: Наука, 1969. Т. 4. С. 318.
7. *Падутов В.Е., Хотылева Л.В., Баранов О.Ю. и др.* Генетические эффекты трансформации лесных экосистем // Эколог. генетика. 2008. Т. VI. № 1. С. 3–11.
8. *Побединский А.В.* Рубки и возобновление в таежных лесах СССР. М.: Лесн. пром-ть, 1973. 200 с.
9. *Санников С.Н., Петрова И.В.* Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 246 с.
10. *Семериков В.Л., Подогас А.В., Шурхал А.В.* Структура изменчивости аллозимных локусов в популяциях сосны обыкновенной // Экология. 1993. № 1. С. 18–25.
11. *Сочава В.Б.* Географические аспекты сибирской тайги. Новосибирск: Наука, 1980. 256 с.
12. *Соколов В.А., Втюрина О.П.* Динамика лесов Красноярского региона // Гео-Сибирь. 2010. Т. 3. № 2. С. 257–259.
13. *Тараканов В.В., Самсонова А.Е., Ильичев Ю.Н.* Влияние естественных и антропогенных факторов на генетическую изменчивость сосны в Приобье: состав терпентинных масел хвои // Лесоведение. 2004. № 5. С. 50–57.

14. *Шигапов З.Х.* Внутривидовая изменчивость и дифференциация видов семейства Pinaceae на Урале: автореф. дисс. … докт. биол. наук: 03.00.05. Пермь: Пермский гос. ун-т, 2005. 46 с.
15. *Экарт А.К., Ларионова А.Я., Зацепина К.Г. и др.* Генетическое разнообразие и дифференциация сосны обыкновенной в Южной Сибири и Монголии // Сиб. экол. журн. 2014. № 1. С. 69–78.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках базового проекта № 0356-2019-0024 и при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 18-44-240002-р_а «Изучение генетического разнообразия популяций основных лесообразующих хвойных видов в пригородных лесах крупных промышленных центров Сибири».

УДК 556

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СТОКЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ

И.В. ТОКАРЕВА[1], М.П. ПРОКУШКИНА[2], Р.А. КОЛОСОВ[1], И.А. СОЛНЫШКИН[1], М.А. КОРЕЦ[1], Р. ЭЙМОН[3], А.С. ПРОКУШКИН[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (gavrilenko@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3] Техасский университет сельского хозяйства и механизации, Галвестон, США

В работе приведены результаты анализа пространственно-временной изменчивости содержания биогенных элементов в стоке р. Енисей на широтной трансекте с 56 по 68° с. ш. На основе маршрутных и стационарных исследований показана динамика содержания фосфатов, нитратов, нитритов и аммония в речных водах р. Енисей в разные гидрологические периоды года.

SPATIOTEMPORAL VARIABILITY OF DISSOLVED BIOGENIC ELEMENTS IN THE ENISEY RIVER RUNOFF

I.V. TOKAREVA[1], M.P. PROKUSHKINA[2], R.A. KOLOSOV[1], I.A. SOLNYSHKIN[1], M.A. KORETS[1], R. AMON[3] A.S. PROKUSHKIN[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (gavrilenko@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[3] Texas University of Agriculture and Mechanization, Galveston, USA

The work is focused on the analysis of the variation in concentrations of dissolved biogenic elements in Yenisei River runoff. Applying stationary and ship-based expeditions at the major hydrologic periods we have studied phosphate, nitrate, nitrite and ammonium concentrations in the Yenisei river on the latitudinal transect from 56° to 68° N.

Изменение гидротермического режима почв Средней Сибири в условиях прогнозируемого изменения климата может привести к увеличению скоростей выветривания пород и минерализации аккумулированного органического вещества в биогеоценозах [7, 9] и, соответственно, коренным образом изменить биогеохимический баланс экосистем [3, 4, 6, 8] и усилить перенос N и P в Карское море как конечный водоем стока [5]. В связи с этим анализ существующего состояния водных ресурсов этого региона, а также прогноз их изменений очень важны на сегодняшний день. Цель нашей работы заключалась в оценке пространственно-временной изменчивости содержания биогенных элементов в стоке р. Енисей.

Работа по изучению содержания биогенных элементов в русловом стоке р. Енисей проводилась на основе маршрутных и стационарных исследований. Маршрутные работы осуществлялись на буксирных судах типа «Ярославец» на участке от 56,0 до 68,25 °с. ш. в весеннее половодье, летнюю межень и осенний период повышенного стока. Отбор образцов воды р. Енисей осуществлялся с шагом 0,5–1,0 °С. ш. в средней части русла непосредственно под поверхностью воды (0,2–0,3 м). Отбор проб в зимнюю межень осуществлялся в ходе экспедиционных работ на автомобильном транспорте по зимнику до п. Бор. Далее образцы отбирались в п. Бахта, Верхнеимбатск, Туруханск и Игарка.

Стационарные исследования проводились на трех постах: г. Дивногорск (нижний бьеф Красноярской ГЭС), п. Зотино (на базе Среднеенисейского стационара ИЛ СО РАН) и «интегральном» участке гидрохимического мониторинга р. Енисей (п. Игарка на базе Геокриологической лаборатории ИМЗ СО РАН). Отбор воды руслового стока на стационарных постах осуществляли еженедельно в период открытой воды (май – сентябрь) и ежемесячно в зимний (октябрь – апрель).

После отбора образцы воды фильтровались с использованием целлюлозных фильтров (0,22 мкм, Millipore), замораживались и хранились при -18 °С непосредственно до проведения анализа в лаборатории. С использованием проточно-инжекционного анализатора (Flow injection analyzer, Lachat Quikchem 8500) определяли содержание фосфатов ($P\text{-}PO_4$), нитратов ($N\text{-}NO_3$), нитритов (NO_2) и аммония (NH_4). Содержание общего азота (TN) определялось с помощью анализатора JenaAnalytik. Концентрация растворенного органического азота (DON) в водах р. Енисей получена на основе разности содержания общего азота (TN) и суммы растворенных форм неорганического азота ($DIN = N\text{-}NO_3 + N\text{-}NO_2 + N\text{-}NH_3$): $DON = TN - DIN$. Для определения расчетов расходов воды и стока биогенных элементов использованы данные среднесуточных расходов воды р. Енисей по постам Среднесибирского УГМС: Базаиха, Бор, Игарка.

Результаты маршрутных исследований пространственной изменчивости концентраций неорганического азота и фосфора указывают на очевидное влияние водохранилища Красноярской ГЭС. На участке от нижнего бьефа Красноярской ГЭС (55°98′ с. ш.) до впадения р. Ангара (58,1° с. ш.) воды р. Енисей характеризуются наиболее высоким содержанием биогенных элементов. Содержание фосфатов в черте г. Красноярска достигало в весеннее половодье 50–65 мкгР/л, в отдельные даты зафиксированы крайне высокие концентрации: в весеннее половодье (29.05.16) – 511 мкг/л и в осенний период (11.10.2018) – 200 мкг/л. В пределах верхнего участка вниз по течению концентрации фосфатов снижались до 30 мкгР/л. Схожая динамика отмечается и для нитратного и аммонийного азота: снижение концентраций от нижнего бьефа ГЭС до устья р. Ангары составило от 140–200 мкгN/л до 50–70 мкгN/л и от 60–80 до 40 мкгN/л соответственно.

На участке после впадения р. Ангара содержание биогенных компонентов существенно падает: концентрация фосфатов снижается с 15–60 мкгР/л, отмеченных для участка до впадения р. Ангары, до 10–20 мкгР/л, а непосредственно в устье Ангары концентрация фосфатов составляет 16 мкгР/л. Количество нитратов при смешивании вод Енисея и Ангары также уменьшается с 145–186 до 5–39 мкгNл. Вероятнее всего, такое снижение концентраций азота и фосфора, которые являются основными субстратными факторами, определяющими рост первичной продукции, обусловлено активностью фитопланктона. Поступление более теплых вод р. Ангары приводит к повышению температуры на 5–10 °С, что улучшает условия развития гидробионтов [2].

В ходе стационарных исследований на интегральном участке в районе Игарки, т. е. воды, которая в конечном счете поступает из р. Енисей в Северный Ледовитый океан, было выявлено, что в летнюю межень содержание фосфатов составляет в среднем 13,9±1,6 мкгР/л. Что касается концентраций азотных форм в летний период в районе Игарки, то в среднем аммония в воде содержится 28,5±10,8 мкгN/л, нитритов – 5,4±1,7 мкгN/л и нитратов – 28,3±18,5 мкгN/л. В зимнюю межень наблюдается повышение содержания фосфатов, нитратов и аммония. В весенний паводок, как и в целом для речного стока р. Енисей, на интегральном участке отмечается увеличение нитритов.

Следует отметить, что на долю р. Енисей приходится 45 % (603 км^3/год) от суммарного стока рек (1350 км^3/год), впадающих в Карское море, а соответственно, его речной сток является значимым источником биогенных веществ, поступающих в морские воды [1]. Как показали наши исследования, годовой сток фосфатов в районе Базаихи составляет 2500 тР/год, а нитратов – 13 650 тN/год, значительно увеличиваясь в районе Игарки – 8080 тР/год и 40 180 тN/год соответственно (рис. 1). Проведенные исследования показали, что общий сток минерального азота ($NO_3+NO_2+NH_4$) в районе Красноярска достигает 16 620 тN/год, а в створе Игарки – 75 650 тN/год.

Таким образом, анализ полученных данных выявил пространственно-временную неоднородность содержания основных биогенов в речном стоке р. Енисей в зависимости от географического положения и времени года. Воды верхнего участка реки относительно богаты биогенными элементами, тогда как после впадения р. Ангары происходит существенное их снижение. Кроме того, выявлена зависимость их содержания от времени года с существенным повышением нитритов в речных водах в весенний паводок и нитратов и аммония – в зимнее время.

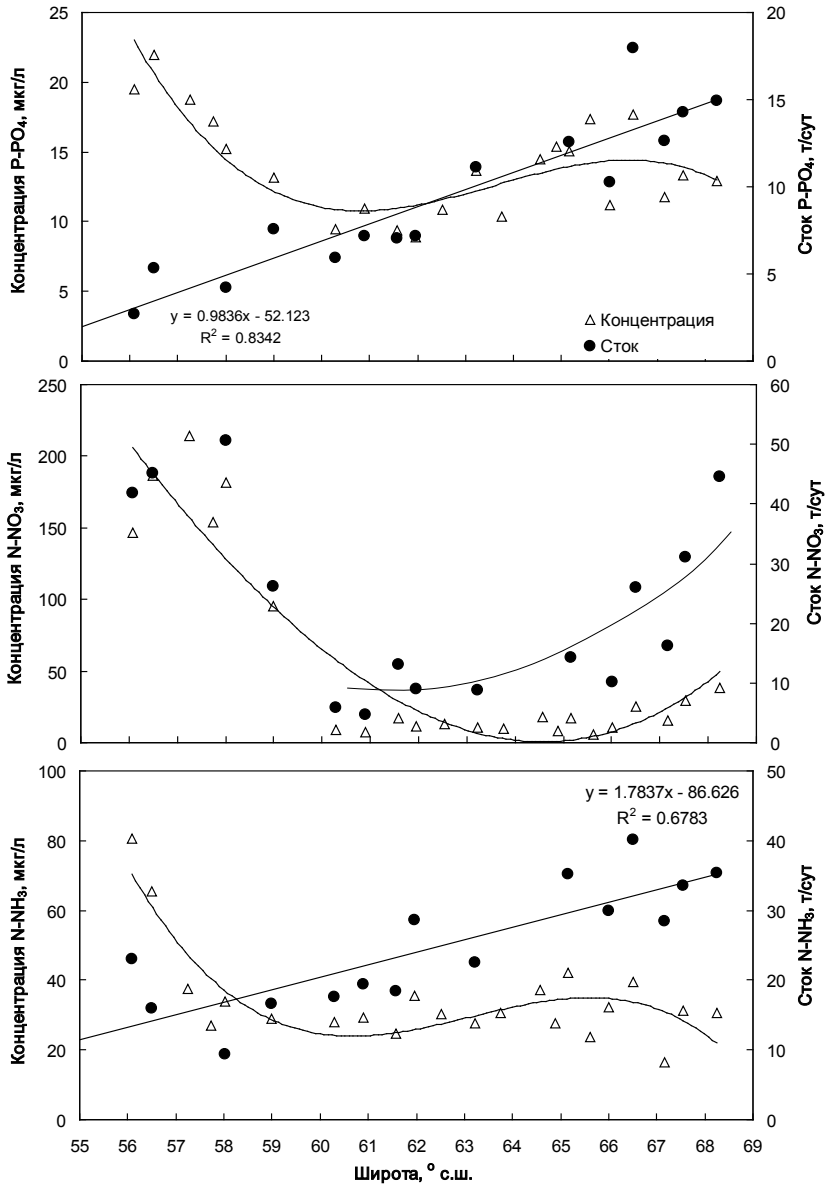


Рис. 1. Пространственная изменчивость концентраций и стока биогенных элементов в русловом стоке р. Енисей от 56 до 67,4° с. ш. Данные маршрутных исследований в период 24.07 – 3.08.2016

ЛИТЕРАТУРА

1. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М., 1997. 413 с.
2. *Сороковикова Л.М., Башенхаева Н.В*. Евтрофирование и качество воды Енисея // Вод. ресурсы. 2000. Т. 27. № 4. С. 497–503.

3. *Dessert C., Dupré B., Gaillardet J., François L.M., Allègre C.J.* Basalt weathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle // Chem. Geol. 2003. 202. P. 257–273.
4. *Frey K.E., Smith L.C.* Amplified carbon release from vastwest Siberian peatlands by 2100 // Geophys. Res. Lett. 2005. 32. L09401. P. 1–4.
5. *Frey K.E., McClelland J.W., Holmes R.M., Smith L.C.* Impacts of climate warming and permafrost thaw on the riverine transport of nitrogen and phosphorus to the Kara Sea // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112. P. 1–10.
6. *MacLean R, Oswood M.W, Irons J.G, McDowell W.H.* The effect of permafrost on stream biogeochemistry: a case study of two streams in the Alaskan (USA) taiga // Biogeochemistry. 1999. 47. P. 239–267.
7. *Schuur E.A.G., Abbott B.W., Koven C.D., Riley W.J., Subin Z.M et al.* Climate Change: High Risk of Permafrost Thaw // Nature. 2011. 480 (7375): 32–3. DOI: 10.1038/480032a.
8. *Tank S.E., Manizza M., Holmes R.M., McClelland J.W., Peterson B.J.* The processing and impact of dissolved riverine nitrogen in the Arctic Ocean // Estuar. Coast. 2012. 35. P. 401–415. DOI: 10.1007/s12237-011-9417-3.
9. *Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S.* Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // Global Change Biol. 2009. 23. GB20237. P. 1–11.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке базового проекта № 0356-2019-0009 и гранта РФФИ № 18-05-60203 Арктика.

УДК 630*161.6: 582.475.2: 631.532

МИКРОКЛОНАЛЬНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ И ПОЛУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ ТЕСТИРОВАННЫХ КЛОНОВ ХВОЙНЫХ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* ЧЕРЕЗ СОМАТИЧЕСКИЙ ЭМБРИОГЕНЕЗ

И.Н. ТРЕТЬЯКОВА[1, 2], М.Э. ПАК[1], А.П. ПАХОМОВА[1], Н.В. ОРЕШКОВА[1, 2], А.С. ШУКЛИНА[1], Д.В. КУЛАГИН[3], А.В. КОНСТАНТИНОВ[3], М.П. КУСЕНКОВА[3], В.Е. ПАДУТОВ[3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (culture@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (sibtaiga@bk.ru)
[3] Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь (forestgen@mail.ru)

При использовании среды АИ получены эмбриогенные клеточные линии видов семейства Pinaceae, произрастающих на территории Сибири. Разработаны маркеры (морфологические, цитологические, физиологические и молекулярно-генетические), при помощи которых определялась эмбриогенность и генетическая стабильность клеточных линий. Тестирование клонированных деревьев лиственницы показало генетическую стабильность.

MICROPROPAGATION AND PRODUCTION OF GENETICALLY TESTED CLONES OF CONIFERS *IN VITRO* VIA SOMATIC EMBRYOGENESIS

I.N. TRETYAKOVA[1, 2], M.E. PARK[1], A.P. PAHOMOVA[1], N.V. ORESHKOVA[1, 2], A.S. SHUKLINA[1], D.V. KULAGIN[3], A.V. KONSTANTINOV[3], M.P. KUSENKOVA[3], V.E. PADUTOV[3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (culture@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (sibtaiga@bk.ru)
[3] Institute of Forest, National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus (forestgen@mail.ru)

Embryogenic cell lines of species of the family Pinaceae growing on the territory of Siberia are obtained on the nutrient medium AI. Markers (morphological, cytological, physiological and molecular genetic) were developed to determine embryogenicity and genetic stability of cell lines. Genetic analysis using nine microsatellite loci revealed the genetic stability of cloned plants (Cl6) and their similarity to the cell lines, which were used for their generations.

В настоящее время активно разрабатываются иновационные биотехнологии по микроклональному размножению хвойных. Наиболее перспективной из них является биотехнология соматического эмбриогенеза, которая широко используется за рубежом для коммерческого лесовыращивания. На основе данной технологии разработана программама Multi Variental Forestry, позволяющая решить основные современные проблемы плантационного лесовыращивания: повышение продуктивности насаждений, устойчивости их к вредителям, адаптации деревьев к изменению климата, восстановление исчезающих видов, сохранение ценного генофонда [2, 3, 4, 5].

Биотехнологии микроклонального размножения генетически тестированных древесных организмов через соматический эмбриогенез разрабатываются в лаборатории лесной генетики и селекции Института леса СО РАН [1].

Проводимые исследования направлены на:

- разработку клеточных биотехнологий: получение и мультипликацию пролиферирующих клеточных линий на основе соматического эмбриогенеза и андроклинии;
- исследование реализации морфогенетических программ в процессе развития соматических зародышей и их прорастания;
- проведение исследований по изучению гормонального балланса эмбриогенных культур и регенерантов;

- проведение молекулрно-генетических исследований, направленных на изучение генетической стабильности клонированных растений;
- испытание устойчивых к патогенам клонированных сеянцев хвойных (*Larix*, *Pinus*, *Picea*, *Abies*);
- сохранение ценных и редких генотипов (видов) хвойных растений путем создания коллекции эмбриогенных культур *in vitro* и их криоконсервации.

Применяя разработанную нами биотехнологию микроклонального размножения сибирских видов хвойных, мы получили 23 эмбриогенных клеточных линий (Кл) *Larix sibirica*, 4 Кл *Pinus pumila,* 1 Кл *Picea obovata* и 4 Кл *Pinus sibirica.* Все Кл состояли из активно пролиферирующей эмбрионально-суспензорной массы (ЭСМ). При отборе и оценке Кл были разработаны маркеры: морфологические (образование рыхлой массы соматических зародышей белого, кремового или желтого цвета), цитологические (удлинение и поляризация соматических клеток и их асимметричное деление), физиологические (полярная локализация ауксинов в клетках), цитогенетические (уровень плоидности) и молекулярно-генетические (микросателлитный анализ). Эмбриогенность культур оценивали по образованию эмбрионально-суспензорной массы (ЭСМ), которая состояла из глобулярных зародышей с длинными суспензорами. Мультипликация соматических зародышей в основном шла за счет кливажа глобул соматических зародышей, расщепления клеток суспензора и его почкования. В одном грамме эмбрионально-суспензорной массы (ЭСМ) содержалось от 3000 до 11 000 соматических зародышей. За каждые две недели культивирования биомасса ЭСМ у разных клеточных линий увеличивается в среднем в 5–6 раз (до 23 для отдельных Кл). Эмбриогенные культуры *Larix sibirica in vitro* пролиферируют до 10 и более лет и могут быть подвержены криоконсервации, что позволяет сохранить генетические ресурсы в течение длительного времени.

Проведенное генотипирование по девяти ядерным микросателлитным локусам пролиферирующих эмбриогенных культур лиственницы сибирской показало, что выявленные аллели в большинстве локусов у Кл соответствовали материнскому дереву-донору. Измененные аллели у Кл наблюдались в отдельных локусах, что, вероятно, свидетельствовало о проявлении отцовского генотипа, которое неизбежно возникало при свободном опылении. Цитогенетические исследования показали, что молодые Кл (возраст один–два года) сохраняли генетическую стабильность. Число хромосом в клетках оставалось диплоидным (2n=24). Кл линии в возрасте 7–9 лет оказывались генетически нестабильными – клетки показывали анеуплоидное число хромосом. Часто число хромосом увеличивалось до 25–28. Однако отдельные Кл линии (например, Кл6) в течение шести лет оставались диплоидными. Клонированные саженцы от этой клеточной линии в течение семи лет успешно растут в почве лесопитомника стационара «Погорельский бор» ИЛ СО РАН (56°22′07.48″ с. ш., 92°57′17.95″ в. д.).

После перемещения пролиферирующей ЭСМ на питательную среду АИ, дополненную АБК, кливаж, почкообразование и мультипликация эмбриональных трубок суспензора прекращались в течение нескольких недель. Через 1 неделю культивирования эмбрионы становились независимыми структурами, происходило формирование оси зародыша, начиналась программированная клеточная смерть суспензора. Во вторую неделю шла активная гистодифференцировка и происходило образование апикальных меристем. В начале третьей недели обозначалось семядольное кольцо. Процесс созревания соматических зародышей завершался в течение 20–60 суток. При переводе соматических зародышей на среду АИ (без гормонов или с ИМК) происходило их прорастание и образовывались регенеранты. Однако при прорастании регенерантов часто наблюдалось нарушение их морфогенеза – возникали утолщения,

особенно в области корешка. Такие регенеранты в дальнейшем не укоренялись. Клонированные сеянцы без видимых морфологических нарушений периодически высаживались в теплицу и в почву лесопитомника, где они успешно растут в течение 7 лет. Микросателлитный анализ показал полное соответствие клонированных саженцев *Larix sibirica* Кл6, из которой они были получены.

Таким образом, на основании морфогенных, физиологических и генетических маркеров соматических зародышей, проростков и клонированных растений, выявленных у лиственницы, разрабатывается технология эмбриогенной клеточной селекции с реализацией морфогенетических программ роста и развития в зависимости от видовой специфики и генотипа дерева у видов семейства Pinaceae, произрастающих на территории Сибири. Благодаря проведенным исследованиям нами создается новая лесная продукция на основе массового получения клонированных саженцев – сортов хвойных видов. Прикладное значение проекта состоит во внедрении разрабатываемой технологии для интенсификации лесовыращивания. Таким образом, впервые в России будет проведено клональное размножение экологически чистых быстрорастущих хвойных видов на основе соматического эмбриогенеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Третьякова И.Н.* Способ микроклонального размножения лиственницы сибирской в культуре *in vitro* через соматический эмбриогенез на среде АИ для плантационного лесовыращивания // Патент России № 2 456 344. 2012.
2. *Bonga J.M., Park Y.-S., Ding C.* What technical improvements are needed to achieve industrial application of conifer somatic embryogenesis? // Bonga J.M., Park Y.-S., Trontin J.F. (Editors) Proceedings of the 5th International Conference of the IUFRO Unit 2.09.02 on Clonal Trees in the Bioeconomy Age: Opportunities and Challenges. September 10–15, 2018. Coimbra, Portugal. Pp. 14–24.
3. *Park Y.-S.* Conifer somatic embryogenesis and multi-varietal forestry // Fenning T (ed) Challenges and Opportunities for the World's Forests in the 21st Century. Forestry Sciences, Springer, Dordercht, 2014. 81: 425–439.
4. *Park Y.-S.* Implementation of conifer somatic embryogenesis in clonal forestry: technical requirements and deployment considerations // Annals of Forest Science. 2002. 59: 651–656.
5. *Park Y.-S., Beaulieu J., Bousquet J.* Multi-varietal forestry integrating genomic selection and somatic embryogenesis // Vegetative Propagation of Forest Trees, 2016. 302–322.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках базового проекта № 0356-2019-0024 и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-54-000010 Бел_а.

УДК 551.583:582.475

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ЯКУТИИ

И.И. ТЫЧКОВ, М.И. ПОПКОВА, В.А. ИЛЬИН, В.В. ШИШОВ

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (ivan.tychkov@gmail.com, popkova.marg@gmail.com, ilynva@gmail.com, vlad.shishov@gmail.com)

Для анализа изменения фенологии хвойных деревьев, произрастающих на территории Якутии, были отобраны 20 дендрохронологических участков и смоделирована ширина годичных колец, а также даты начала и конца сезонов роста при помощи VS-Oscilloscope Online. Согласно результатам моделирования была выявлена тенденция к раннему началу сезона на всех участках.

MODELING OF PHENOLOGICAL CHANGES OF CONIFERS AS A RESULT OF CLIMATE CHANGE IN YAKUTIA

I.I. TYCHKOV, M.I. POPKOVA, V.A. ILJIN, V.V. SHISHOV

Siberian Federal University, Krasnoyarsk (ivan.tychkov@gmail.com, popkova.marg@gmail.com, ilynva@gmail.com, vlad.shishov@gmail.com)

For the analysis of changes occurring on the territory of Yakutia, 20 dendrochronological sites were selected and data on tree-ring width and dates of start and end of growthing seasons were simulated using VS-oscilloscope online. According to the simulation results, trend of early start of growing season for all sites was obtained.

Изменения в климате, наблюдаемые в настоящее время, оказывают большое влияние на рост древесных растений и могут привести к внезапным и неожиданным реакциям (например, изменениям в продолжительности сезона роста). По этой причине исследованиям изменений фенологических процессов древесных растений под воздействием климата уделяется большое внимание в климатологии и дендроэкологии, особенно в контексте исследований, прогнозирующих изменения климата в ближайшие годы [1, 2, 5, 6, 7, 8].

Цель исследования – проанализировать изменчивость фенологических данных, полученных для широтного трансекта в Центральной Якутии, и объяснить, как недавние и продолжающиеся изменения климата влияют на фенологию хвойных деревьев.

Для получения фенологической информации в качестве независимого источника может использоваться процессное моделирование. В данной работе мы применили визуальную параметризацию модели роста годичных колец хвойных деревьев Ваганова – Шашкина на основе климатических факторов (температуры и осадков): VS-oscilloscope Online. Широкая апробация VS-модели показала, что она позволяет получать данные о фенологической изменчивости растительности дневного разрешения, которые соотносятся с результатами прямого наблюдения и спутниковыми данными [3, 4, 10, 9, 11].

Для анализа использовались древесно-кольцевые хронологии хвойных пород деревьев с 20 участков вдоль реки Лены и суточных климатических данных для 7 станций. Полученные остаточные хронологии были разделены на три группы: в северной, центральной и южной части региона.

Для участков северной и центральной части, где рост деревьев лимитировался температурой, наблюдается тенденция к раннему началу активации камбия, что положительно связано с увеличением продукции клеток в течение вегетационного периода и, как следствие, с шириной кольца деревьев. А для участков южной части региона со смешанным лимитирующим фактором роста (температуры и влажности

почвы) ширина годичных колец не зависела от увеличения продолжительности вегетационного периода.

Согласно результатам моделирования за последние три десятилетия, 1981–2014 гг., для всех частей трансекта наблюдается раннее наступление вегетационного периода: для северной части в среднем 0,33 д/г (день в году), центральной части – 0,3 д/г, южной части – 0,31 д/г. Никаких существенных тенденций раннего начала сезона роста для более раннего периода 1936–1984 гг. получено не было.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kirtman B*., et al. Near-term climate change: Projections and predictability // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T. Stocker et al., Eds., Cambridge University Press, 2013. Pp. 953–1028.
2. *Meehl G.A*., et al. Decadal climate prediction: an update from the trenches // Bulletin of the American Meteorological Society. 2014. 95 (2): 243–267.
3. *Peresunko P.* et al. VS-Oscillocsope onlie: web-application of process-based Vaganov – Shashkin model for tree-ring growth // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management 18, 2018. Pp. 529–536.
4. *Popkova M.I.* et al. Modeled tracheidograms disclose drought influence on Pinus sylvestris tree-rings structure from Siberian forest-steppe // Frontiers of Plant Science. 2018. 9.
5. *Power S.,* et al. Apparent limitations in the ability of CMIP5 climate models to simulate recent multi-decadal change in surface temperature: implications for global temperature projections // Climate Dynamics,. 2017. 49 (1–2): 53–69.
6. *Richardson M., Cowtan K., & Millar R.J.* Global temperature definition affects achievement of long-term climate goals // Environmental Research Letters. 2018. 13 (5): 054004.
7. *Ruosteenoja K., Jylhä K., Kämäräinen M.* Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios // Geophysica. 2016. 51. Pp. 17–50.
8. *Sévellec F. and Drijfhout S.S.* A novel probabilistic forecast system predicting anomalously warm 2018–2022 reinforcing the long-term global warming trend // Nature communications. 2018. 9 (1): 3024.
9. *Shishov V.V.,* et al. VS-oscilloscope: A new tool to parameterize tree radial growth based on climate conditions // Dendrochronologia. 2016. 39: 42–50.
10. *Tychkov I.,* et al. How can the parameterization of a process-based model help us understand real tree-ring growth? // Trees. 2019. 33 (2): 345–357.
11. *Yang B.,* et al. New perspective on spring vegetation phenology and global climate change based on Tibetan Plateau tree-ring data // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2017. 114: 6966–6971.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке проекта РНФ (№ 18-14-00072, сбор, обработка и анализ дендрохронологических материалов) и «Государственное задание «Наука будущего» (проект № 5.3508.2017/4.6, моделирование камбиальной фенологии).

УДК 630.812.14:582.475.2

ТЕРМИЧЕСКИЙ И СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАННЕЙ И ПОЗДНЕЙ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ПОЛЯРНОЙ ГРАНИЦЕ ЛЕСА: КОРРЕЛЯЦИЯ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ.

Е.А. ТЮТЬКОВА, С.Р. ЛОСКУТОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (katewood@inbox.ru; lsr@ksc.krasn.ru)

Приведены результаты исследования ранней и поздней древесины в годичных кольцах, образованных в 1988–1998 гг. у деревьев лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) на полярной границе леса (п-ов Таймыр, 70°52′53″ с. ш., 102°58′26″ в. д.) с использованием методов термогравиметрии (ТГ) и ИК-Фурье-спектроскопии (ИКФС).

THERMAL ANALYSIS AND FTIR SPECTROSCOPY OF EARLYWOOD AND LATEWOOD OF LARCH (*LARIX GMELINII* (RUPR.) RUPR.) FOUND ALONG THE POLAR TREE LINE: CORRELATION OF WOOD DESTRUCTION VALUES WITH CLIMATIC FACTORS.

E.A. TYUTKOVA, S.R. LOSKUTOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (katewood@inbox.ru; lsr@ksc.krasn.ru)

This paper presents the results of thermogravimetry and FTIR spectroscopy of the 1988–1998 annual ring early and latewood of *Larix gmelinii* Rupr. (Rupr.) individuals found along the polar treeline (Taimyr Peninsula, 70°52′53″ N, 102°58′26″ E).

Современные изменения климата неизбежно влекут за собой изменения экосистем, часто непредсказуемые. Особую озабоченность вызывают субарктические территории, где климатические изменения проявляются наиболее ярко. В первую очередь это относится к полярной границе леса, изменение положения которой в значительной степени определяется тенденцией повышения температуры воздуха [3, 5, 6, 8].

Можно предположить, что от погодных условий зависит и строение самих клеточных стенок. Установлено, что на образование основных полимерных компонентов древесинного вещества в той или иной степени влияют различные факторы внешней среды [9], следовательно, в данной ботанико-географической области в течение конкретного вегетационного периода синтезируется полимерная композиция клеточной стенки древесины, «уникальная» по своим характеристикам, отвечающим этому периоду (году): по соотношению массовых долей полимерных компонентов и экстрактивных веществ, пространственной структуре лигнино-углеводной матрицы. Однако вопросы, касающиеся влияния погодных условий на биохимическую структуру ранней и поздней древесины, остаются нерешенными. Подобные исследования становятся продуктивными благодаря современным высокоинформативным и экспрессным физическим методам исследования названных показателей свойств древесинного вещества в аспекте биологического (экологического) и технического древесиноведения, химии древесины, которыми являются ИК-Фурье-спектроскопия (ИКФС) и термогравиметрия (ТГ).

Целью исследования являлась индикация изменения физико-химических характеристик, строения, состава и свойств ранней и поздней древесины лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) индивидуальных годичных слоев 11-летнего периода (с 1988 по 1998 г.) в зависимости от условий произрастания.

Исследовались образцы древесины, заготовленные на севере Средней Сибири (Юго-Восточный Таймыр) в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты (70°52′53″

с. ш., 102°58′26″ в. д.). О климате можно судить по данным ближайшей к месту исследования метеостанции Хатанга (31 м н. у. м., 71°59′ с. ш., 102°28′ в. д.) [1, 4].

В редкостойном лиственничнике, произрастающем непосредственно на границе с тундрой, было выбрано одно типичное дерево, биометрические характеристики которого соответствовали средним значениям по древостою (структура древостоя и динамика радиального роста деревьев были исследованы в работе [2]).

Со ствола этого дерева был взят спил на высоте 1,3 м. С помощью установки LINTAB v.3.0 была проведена датировка годичных колец спила; из них как можно ближе к коре была выбрана серия из десяти достаточно широких колец, чтобы их можно было разделить на раннюю и позднюю древесину.

Термогравиметрия. Образцы древесины анализировали в атмосфере воздуха при следующих условиях: нагрев от 25 до 700 °С со скоростью 10, 20 и 40 °С·мин$^{-1}$, масса образца 2,50–2,99 мг, тигель корундовый цилиндрической формы. Калибровка прибора TG 209 F1 осуществлялась по инструкции и с использованием калибровочных веществ, прилагаемых к приборам.

ИК-Фурье-спектроскопия. Спектры были получены с помощью инфракрасного Фурье-спектрометра «VERTEX 80V» в спектральном диапазоне 8000–350 см$^{-1}$. Спектральное разрешение 0,2 см$^{-1}$. Ранняя и поздняя древесина аккуратно спиливалась мелкозубчатой пилкой по металлу в древесный порошок, 1–2 мг древесного порошка аккуратно перемешивались со 100 мг KBr.

Для выявления обусловленности термических показателей, а также спектральных полос поглощения ранней и поздней древесины годичных слоев влиянием погодных условий их образования, рассчитывались коэффициенты корреляции Пирсона между параметрами термодеструкции и спектральными значениями полос поглощения основных полимерных компонентов древесинного вещества, найденными с помощью методов ТГ, ИКФС, и среднемесячными значениями температуры воздуха и суммой месячных осадков по метеостанции Хатанга за период с 1988 по 1998 г.

Показатели потери массы связанной воды (Δm1), потери массы полиоз (Δm2) и преимущественной потери массы лигнина и сгорания образовавшегося угля (Δm4) достоверно (P>0,95) коррелируют с весенними (апрельскими и майскими) осадками. У ранней древесины только показатель Δm2 «чувствителен» к осадкам (связь с майскими осадками отрицательная (R=-0,67); у поздней древесины «чувствительными» к осадкам оказались показатели Δm1 и Δm4: первый положительно коррелирует с апрельскими осадками (R=0,60), второй – отрицательно с майскими (R=-0,58). Температура воздуха достоверно коррелирует только с показателями Δm поздней древесины и только с показателем потери массы целлюлозы (Δm3) и Δm4. Δm3 отрицательно связана с температурой июня (R=-0,58), а Δm4 – с температурой апреля, мая и октября (корреляция также отрицательна: R=-0,82, -0,72 и -0,62).

Основные различия ИК-спектров, установленные нами для образцов ранней и поздней древесины *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr), наблюдали в диапазоне частоты «отпечатков пальцев» (от 1800 до 600 см$^{-1}$). Значение полосы поглощения в области 1720–1760 см$^{-1}$ ранней древесины достоверно (P>0,95) коррелирует с апрельскими осадками (R=-0,56, связь с осадками отрицательная). У ранней древесины значения полос поглощения в области 1520–1496 см$^{-1}$, 1435–1400 см$^{-1}$, значения полосы в диапазоне 1322–1300 см$^{-1}$ «чувствительны» к июньским осадкам (R=-0,59, -0,58 и -0,59 соответственно). У поздней древесины корреляции с осадками значений исследуемых полос поглощения не обнаружено. Температура воздуха достоверно коррелирует только со значениями полос поглощения в спектральном диапазоне 1435–1400 см$^{-1}$ и 1322–1300 см$^{-1}$ ранней древесины. Исследуемые полосы отрицательно связаны с температурой мая (R=-0,56, -0,59 соответственно). Значение полосы в области 791–762 см$^{-1}$ отрицательно коррелирует с

температурой в июле (R=-0,59). Значения полос поглощения в областях 1760–1720 $см^{-1}$ (R=-0,67); 1650–1630 $см^{-1}$ (R=-0,68); 1610–1590 $см^{-1}$ (R=-0,67); 1520–1496 $см^{-1}$ (R=-0,66); 1435–1400 $см^{-1}$ (R=-0,66), а также полоса в спектральном диапазоне 1322–1300 $см^{-1}$ (R=-0,66) в образцах поздней древесины «чувствительны» к температуре августа. Значение полосы 791–762 $см^{-1}$ положительно связано с температурой в мае и июне (R=0,59 и 0,60).

На основе разработанного теоретико-экспериментального подхода к дифференциации древесины по физико-химическим показателям, получаемым с помощью комплекса методов термического анализа и ИК-Фурье-спектроскопии, в исследовании дано новое решение актуальной научной задачи по оценке степени влияния погодных факторов вегетационного периода на физико-химические характеристики ранней и поздней древесины лиственницы Гмелина *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) индивидуальных годичных слоев на примере одиннадцатилетнего периода. Анализ корреляционной связи между показателями термодеструкции, спектральными значениями полос поглощения основных полимерных компонентов и средними значениями температуры воздуха и осадков показал, что погодные условия начала сезона роста (апреля – июня) определяют компонентный состав ранней и поздней древесины; температура воздуха оказывает заметное влияние на компонентный состав при синтезе клеточных стенок только поздней древесины, осадки – и поздней, и ранней древесины. Использование метода ИК-Фурье-спектроскопии, по нашему мнению, перспективно для получения информации о биохимическом составе стенок ранних и поздних трахеид в годичных приростах стволовой древесины и выявления степени влияния изменяющихся погодных условий и климата на синтез клеточных стенок. Впервые установлены достоверные различия ИК-спектральных показателей древесины годичных слоев, отвечающих углеводной и ароматической частям древесинного вещества разных лет образования, а также индексов, характеризующих степень кристалличности целлюлозы и состояние связанной воды.

Результаты исследования и выводы имеют прикладное значение: по оценке термоустойчивости древесины индивидуальных пород и древесных композитов как конструкционного материала, при разработке технологий термического модифицирования древесины, для разработки новых технологий пиролиза, при утилизации отходов лесопиления и при производстве целлюлозы. Развиваемый нами физико-химический подход и дендрохронологические методы исследования ксилогенеза существенно расширяют аналитические возможности при решении фундаментальных задач о влиянии климатических условий на процесс образования и свойства древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ары-Мас*. Природные условия, флора и растительность / Б.Н. Норин. Л.: Наука, 1978. 192 с.
2. *Бенькова, В.Е., Шашакин А.В., Наурзбаев М.М., Прокушкин А.С., Симанько В.В.* Значение микроэкологических условий для роста лиственницы Гмелина в экотоне верхней границы леса на полуострове Таймыр // Лесоведение. 2012. 4. С. 73–84.
3. *Динамика* древесной и кустарниковой растительности в горах полярного Урала под влиянием современных изменений климата / С.Г. Шиятов. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.
4. *Леса* Красноярского Заполярья / А.П. Абаимов, А.И. Бондарев, О.А. Зырянова С.А. Шитова / Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
5. *Хантемиров, Р.М, Шиятов С.Г.* Основные этапы развития древесной растительности на Ямале в голоцене // Экология. 1999. 3. С. 163–169.
6. *Korner C.* A reassessment of high elevation treeline positions and their explanation // Oecologia. 1998. 115. 445–459.
8. *Skre O., Baxter R., Crawford R.M.M., Callaghan T.V., Fedorkov A.* How will the tundra-taiga interface respond to Climate Change? // AMBIO. 2002. Special Report. 12. 37–46.
9. *Xu Y.M., Tu K.G., Ye X.S., Xiang C.Y.* Variations in wood chemical compositions of Pinus taeda provenances // Chemistry and Industry of Forest Products. 1997. 17. 73–78.

УДК 630*52:630*174.754+630*16:582.475.4

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕСОВ ЕВРАЗИИ В СВЯЗИ С ТЕМПЕРАТУРОЙ И ОСАДКАМИ

В.А. УСОЛЬЦЕВ[1, 2], И.С. ЦЕПОРДЕЙ[1], А.А. ОСМИРКО[2]

[1] Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия (ivan.tsepordey@yandex.ru)
[2] Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия (usoltsev50@mail.ru)

На основе сформированной базы данных об общей (надземной и подземной) фитомассе насаждений *Pinus* L., *Larix* Mill., *Picea* Dietr., *Abies* Mill. и *Betula* L. разработаны 3D-модели фитомассы, распределенной на территории Евразии по градиентам средних январских температур и среднегодовых осадков.

BIOLOGICAL PRODUCTIVITY OF EURASIAN FORESTS AS RELATED TO TEMPERATURE AND PRECIPITATION

V.A. USOLTSEV[1, 2], I.S. TSEPORDEY[1], A.A. OSMIRKO[2]

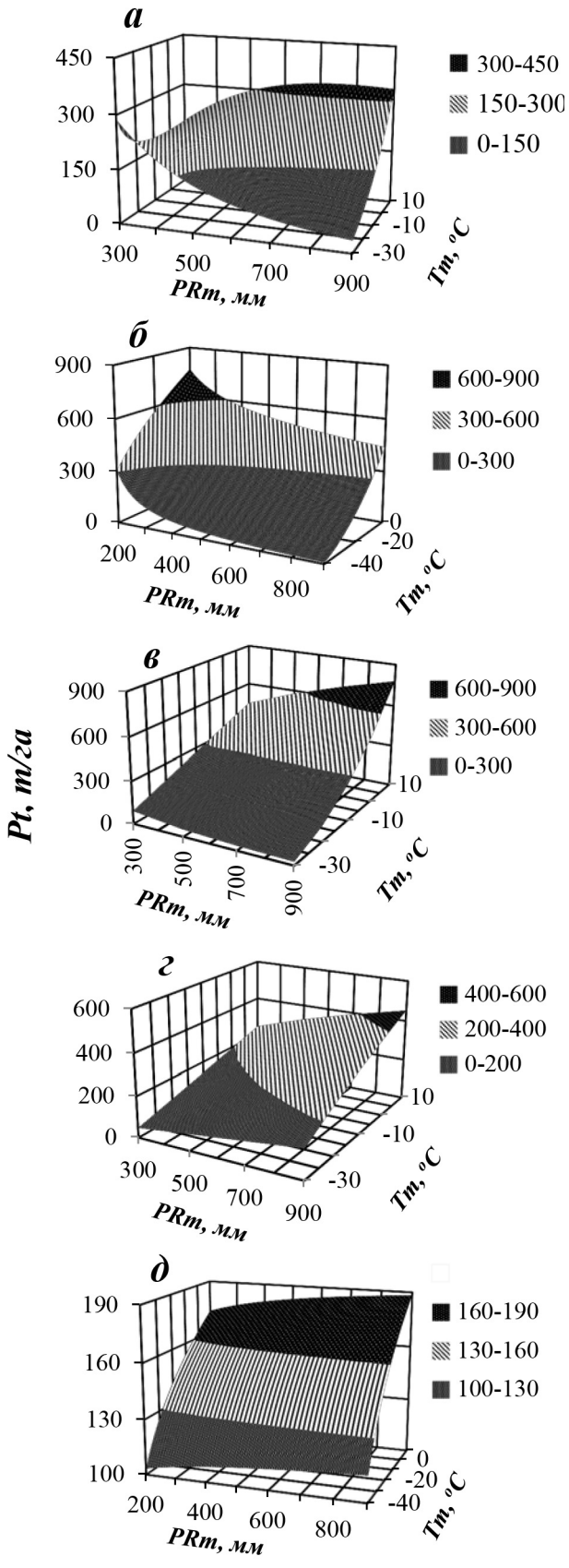
[1]Botanical Garden of UrB RASc, Yekaterinburg, Russia (ivan.tsepordey@yandex.ru)
[2] Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg (usoltsev50@mail.ru)

On the basis of the database compiled on the total (above-ground and under-ground) phytomass of *Pinus* L., *Larix* Mill., *Picea* Dietr., *Abies* Mill. and *Betula* L. growing in Eurasia, 3D-models of each species phytomass distributed along to gradients of mean January temperatures and mean annual precipitation have been developed.

За период с 1850 года по настоящее время содержание парниковых газов в атмосфере удвоилось, что грозит планете катастрофическими климатическими изменениями [5]. Международные обязательства сократить выбросы CO_2 и не допустить повышения среднегодовой температуры более чем на 2 °C к концу века могут быть реализованы, в частности, за счет увеличения запаса фитомассы в растительном покрове в ходе эффективного ведения лесного хозяйства. С другой стороны, изменение климата оказывает существенное влияние на запасы фитомассы растительного покрова, что, в свою очередь, влияет на трансформацию круговорота веществ и газообмена в биосфере [1].

Температура и осадки являются наиболее информативными климатическими факторами, определяющими фитомассу древостоев, однако имеются существенные противоречия и неопределенности, связанные с оценкой названной стохастической зависимости с помощью как эмпирических, так и функциональных моделей [4, 9, 11, 12]. Противоречивые результаты получены даже в пределах одного региона, влияние же названных климатических факторов на фитомассу и ЧПП древостоев отдельных древесных видов (родов) в трансевразийских климатических градиентах температуры и осадков по сей день неизвестно, поскольку имеющиеся сведения отрывочны и противоречивы [7, 13, 14, 16].

Для оценки запасов фитомассы и углеродных пулов на покрытых лесом площадях разрабатываются регрессионные уравнения на уровне дерева и древостоя по фактическим данным, полученным на пробных площадях. На основе предложенной гипотезы о том, что данной структуре фитомассы древостоя может соответствовать лишь одна, строго определенная структура его таксационных показателей [2], разработана методика расчета многофакторных регрессионных моделей для лесообразующих древесных видов Евразии [3]. В работе предпринята первая попытка моделирования фракционного состава фитомассы лесных фитоценозов по трансевразийским градиентам температур и осадков на примере основных лесообразующих пород. Из базы данных о фитомассе лесных насаждений Евразии [15]



взяты материалы в количестве 4970 определений, в том числе для *Pinus* L., *Larix* Mill., *Picea* Dietr., *Abies* Mill. и *Betula* L. в количестве соответственно 2460, 540, 920, 370 и 680 пробных площадей.

Использованы карты-схемы изолиний среднегодовых осадков и средней температуры января [17]. Предпочтение было сделано январской, а не среднегодовой температуре, поскольку потепление наиболее ярко выражено в холодную половину года [1, 6, 10]. Регрессионные модели по каждой породе, включающие в качестве регрессоров как основные таксационные характеристики, так и климатические переменные – среднюю температуру января и среднегодовые осадки, – показали достаточно высокую долю объясненной изменчивости фитомассы на уровне вероятности не ниже P_{05}.

Путем подстановки в полученные уравнения модальных значений запаса, густоты и возраста – 100 лет для хвойных и 50 лет для березы – получены матрицы расчетных данных и 3D-графические модели общей (надземной и подземной) фитомассы древостоев, распределенных по задаваемым градиентам температур и осадков (рис. 1).

Рис. 1. Зависимость расчетных значений общей фитомассы (***Pt***) древостоев сосны (*а*), лиственницы (*б*), ели (*в*), пихты (*г*) и березы (*д*) от средней температуры января (***Tm***) и среднегодовых осадков ***(PRm)***

Согласно полученной графической модели (рис. 1), все древесные виды реагируют на повышение среднегодовой температуры резким увеличением фитомассы, за исключением сосны, которая снижает фитомассу в условиях влагодефицита (300 мм осадков). Положительная реакция на увеличение осадков менее выражена по сравнению с влиянием температуры, притом не у всех видов: лиственница, этот уникальный, «единственный листопадный вид в вечнозеленом мире» [8], при увеличении осадков снижает фитомассу во всех зональных поясах. Снижает фитомассу и сосна, но только в холодных климатических поясах (-30 °С).

Полученные модели фитомассы дают возможность предсказывать ее динамику в связи с ожидаемыми изменениями климата, в частности, средней температуры января и среднегодовых осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А*. Влияние климатических изменений на растительный покров Европейской России // Известия РАН. Серия географическая. 2009. 2. С. 57–68.
2. *Усольцев В.А*. Некоторые методические и концептуальные неопределенности при оценке приходной части углеродного цикла лесов // Экология. 2007. 1. С. 1–10.
3. *Усольцев В.А*. Биологическая продуктивность лесообразующих пород в климатических градиентах Евразии (к менеджменту биосферных функций лесов). Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 384 с.
4. *Eggers J., Lindner M., Zudin S., Zaehle S., Liski J*. Impact of changing wood demand, climate and land use on European forest resources and carbon stocks during the 21st century // Global Change Biology. 2008. 14: 2288–2303.
5. *Fatichi S., Pappas C., Zscheischler J., Leuzinge S*. Modelling carbon sources and sinks in terrestrial vegetation // New Phytologist. 2019. 221 (2): 652–668.
6. *Felton A., Nilsson U., Sonesson J*., et al. Replacing monocultures with mixed-species stands: ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden // Ambio. 2016. 45 (Suppl. 2): 124–139.
7. *Fu L., Lei X., Hu Z.,* et al. Integrating regional climate change into allometric equations for estimating tree aboveground biomass of Masson pine in China // Annals of Forest Science. 2017. 74 (42): 1-15. DOI: 10.1007/s13595-017-0636-z.
8. *Gower S.T., Richards J.H*. Larches: Deciduous conifers in an evergreen world // BioScience. 1990. 40 (11): 818–826.
9. *Han S.H., Kim S., Li G. et al.* Effects of warming and precipitation manipulation on fine root dynamics of *Pinus densiflora* Sieb. *et* Zucc. seedlings // Forests. 2018. 9: 14. DOI: 10.3390/f9010014.
10. *Laing J., Binyamin J*. Climate change effect on winter temperature and precipitation of Yellowknife, Northwest Territories, Canada from 1943 to 2011 // American Journal of Climate Change. 2013. 2: 275–283.
11. *Poudel B. C., Sathre R., Gustavsson L., Bergh J. et al*. Effects of climate change on biomass production and substitution in north-central Sweden // Biomass and Bioenergy. 2011. 35 (10): 4340–4355.
12. *Shuman J.K., Shugart H.H*. Evaluating the sensitivity of Eurasian forest biomass to climate change using a dynamic vegetation model // Environmental Research Letters. 2009. 4 (4): 1–7.
13. *Stegen J.C., Swenson N.G., Enquist B.J. et al*. Variation in above-ground forest biomass across broad climatic gradients // Global Ecology and Biogeography. 2011. 20 (5): 744–754 [Электронный ресурс] URL: https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00645.x.
14. *Strömgren M., Linder S*. Effects of nutrition and soil warming on stem wood production of a boreal Norway spruce stand // Global Change Biology. 2002. 8: 1195–1204.
15. *Usoltsev V.A*. Forest biomass and primary production database for Eurasia. CD-version. The 2nd ed. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2013. [Электронный ресурс.] URL: http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3059.
16. *Wilmking M., Juday G.P., Barber V.A., Zald H.S.J*. Recent climate warming forces contrasting growth responses of white spruce at treeline in Alaska through temperature thresholds // Global Change Biology. 2004. 10: 1724–1736.
17. *World* Weather Maps, 2007. [Электронный ресурс.] URL: https://www.mapsofworld.com/referrals/weather/ (дата обращения: 15.06.2018).

УДК: 630*181.351+574.42

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ И СЕМЕНОШЕНИЕ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ОТВАЛАХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КУЗБАССА

В.И. УФИМЦЕВ

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН «Институт экологии человека», Кемерово, Россия (uwy2079@gmail.com)

Проведено исследование репродуктивных свойств разногустотных сосновых насаждений, произрастающих на отвалах Кузбасса. Установлено, что наиболее высокие количественные показатели (семеношение, распределение подроста) характерны для наименее увлажненных степного ядра и южной лесостепи. Семена сосны обыкновенной, собранные на отвалах, обладают сравнительно высокими посевными качествами. Оптимальные условия для естественного возобновления складываются в низкополнотных сосняках.

NATURAL REFORESTATION AND SEED-BEARING OF PINE PLANTINGS ON DUMPS OF KUZBASS

V.I. UFIMTSEV

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS, Kemerovo, Russia (uwy2079@gmail.com)

The research of reproductive properties of the pine plantings with different density growing on dumps of Kuzbass is conducted. It is established that the highest quantitative indices (a fructification, subgrowth distribution) are characteristic of the least humidified steppe kernel and the southern forest-steppe. Seeds of a pine forestry, collected on dumps, have rather high sowing qualities. Optimal conditions for natural renewal develop in low-half pine forests.

Способность к естественному возобновлению – один из ключевых критериев устойчивости древесных насаждений, созданных на отвалах вскрышных пород угольной промышленности [1]. Созданные на отвалах Кузбасса насаждения только вступили в период плодоношения – наиболее старшие из них еще находятся в стадии жердняка (II класс возраста – 20–40 лет) и приближаются к средневозрастным. Под покровом материнских деревьев формируется второе поколение, которое выступает биологическим механизмом сохранения популяции. Более полное представление о репродуктивных возможностях насаждений на отвалах можно получить, несколько расширив спектр исследований – включив в задачи не только изучение текущих характеристик подроста, но и оценку параметров семеношения древостоев, свойств семян и качества вырастающих из них сеянцев *ex vivo*.

Исследования проведены на участках лесной рекультивации Кузбасса. Заложено 20 постоянных пробных площадей в 4 эколого-географических районах (ЭГР) Кузбасса: в северной лесостепи (СЛ), степном ядре (СЯ), южной лесостепи (ЮЛ) и среднегорном таежном районе (ГТ). Насаждения – одновидовые культуры сосны обыкновенной 25–28-летнего возраста, I–II класса бонитета. Для исследования возобновления использован метод учетных площадок (УП) А.В. Побединского [2], оценку семеношения проводили по среднегодовому количеству опавших шишек [3], из посевных качеств семян изучены всхожесть и энергия прорастания, для сравнительной оценки качества сеянцев заложен двухлетний полевой эксперимент по их выращиванию в специальных коробах.

Подрост сосны обыкновенной отмечался на всех пробных площадях каждого ЭГР. На прилегающих к насаждениям участках возобновление сосны неудовлетворительное – 0,5–1,0 тыс. шт./га, его встречаемость спорадическая – 5–21 %. Максимальное количество подроста сосны в СЛ, СЯ и ЮЛ сосредоточено в

насаждениях с сомкнутостью крон 50 %; при уменьшении сомкнутости, как и при повышении, практически симметрично отмечается его снижение. Тренды количества подроста между указанными ЭГР не перекрываются, что свидетельствует о закономерной связи данного показателя с условиями произрастания. В ГТ количество подроста прямо пропорционально сомкнутости с нарастающим итогом при 90 %, что свидетельствует о противоположном эффекте конкуренции. Между ЭГР максимальное количество отмечается в СЯ – 110,0±13,0 тыс. шт./га, далее следуют СЛ – 82,0±9,0 тыс. шт./га, ЮЛ – 38,0±4,0 тыс. шт./га и ТГ – 14,0±2,5 тыс. шт./га при 50 % и 23,0±2,1 тыс. шт./га при 90 %. Максимальное количество подроста последовательно снижается по мере повышения ГТК от предыдущего ЭГР к каждому последующему: на 26 % от СЯ к СЛ, на 54 % от СЛ к ЮЛ, на 39 % – от ЮЛ к ГТ.

Встречаемость подроста в СЯ и СЛ высокая во всех категориях сомкнутости крон и составляет 80–100 %. В ЮЛ встречаемость растет до сомкнутости крон 70 %, достигает величины 85 % и при 90 % резко снижается до 4 %. В ГТ в мало- и среднесомкнутых древостоях встречаемость подроста низкая – 7–53 %, а в высокосомкнутых существенно возрастает и достигает значений 61–88 %. Возможно, в ЮЛ и особенно в ГТ приуроченность подроста к сомкнутым древостоям имеет обратную связь с фактором увлажнения – как известно, при высокой сомкнутости происходит перераспределение осадков и подкроновые пространства становятся зонами ксероморфности, что и определяет благоприятность условий для всходов и самосева сосны по сравнению с более увлажненными прикроновыми и внешними участками.

Максимальное количество семян формируется при 70%-й сомкнутости, распределение ЭГР по этому показателю полностью соответствует распределению по подросту: максимальное количество созревших семян отмечено в СЯ – 3,70±0,21 млн шт./га, далее следует СЛ – 2,64±0,27 млн шт./га, затем ЮЛ – 1,85±0,23 млн шт./га и ГТ – 0,39±0,23 млн шт./га. Это свидетельствует о высокой связи количества подроста на отвалах с количеством созревающих семян в молодняках II класса возраста.

Средняя масса 1000 семян является достаточно стабильным показателем и зависит, как правило, от экотипа сосны [4]. На ПП и в контроле она составила 6,2–7,5 г, что соответствует диапазону в пределах одной экологической группы. Более динамично выражены энергия прорастания (Эп) и всхожесть (Вс), повышенные параметры которых обнаружены у семян, собранных с пробных площадей в СЯ – 4,5 сут. и 99 % соответственно, что существенно выше, чем в контроле (6,6 сут. и 82 % соответственно). В ЮЛ, СЛ и ГТ Эп и Вс не имеют существенных различий и составляют 4,9–5,2 сут. и 92–94 % соответственно.

Сеянцы, выращенные из семян в полевом опыте, по ЭГР также характеризуются существенными морфологическими различиями. После 2-го года вегетации у сеянцев из СЯ отмечается наиболее высокая жизненность – доля сеянцев с 5 баллами составляет 96 % (в контроле – 89 %), они имеют максимальные показатели роста – средняя высота составляет 16,4 см (в 2 раза выше, чем в контроле, – 8,2 см), диаметр – 7,1 см (в контроле – 4,5 см). В СЛ и ЮЛ высота сеянцев – 9,8 и 8,3 см и их диаметр – 3,2 и 4,4 соответствуют контролю или приближены к нему, жизненность – несколько ниже, 81 и 84 % соответственно.

Высокие морфологические показатели отмечены у сеянцев, выращенных из семян в ГТ: доля 5-балльных сеянцев составляет 90 %, высота – 14,5 см, диаметр – 5,4 см, что приближено к показателям СЯ и, как и высокие посевные качества семян (энергия прорастания и всхожесть), свидетельствует об отсутствии влияния ГТК на качественные показатели репродукции.

Таким образом, возобновление сосны обыкновенной в насаждениях на отвалах угольной промышленности лесостепных районов Кузбасса характеризуется хорошими и отличными параметрами количества и встречаемости подроста и может оцениваться как успешное. Наиболее высокие параметры отмечены в степном ядре с неустойчивым уровнем увлажнения. По мере увеличения гидротермического коэффициента климата эколого-географических районов отмечается последовательное снижение параметров возобновления, что, возможно, связано с биологическими особенностями сосны как выраженного ксерофита. Актуальные репродуктивные возможности сосновых насаждений наиболее высоки в разреженных и среднесомкнутых насаждениях с сомкнутостью крон 50 % и густотой в период II класса возраста 0,6–0,9 тыс. деревьев на 1 га, где формируется максимальное количество семян. У сосны обыкновенной, выросшей в олиготрофных условиях отвалов, посевные качества семян выше, чем на зональных почвах Кузбасса, – это свидетельствует о благоприятности условий отвалов для произрастания и высоком потенциале естественного возобновления насаждений сосны обыкновенной.

Текущее состояние возобновления сосны на отвалах горно-таежных районов с избыточным увлажнением оценивается как неудовлетворительное. Однако учитывая высокие посевные качества формирующихся семян и морфометрические параметры выращенных их них сеянцев, насаждения сосны на отвалах среднегорного таежного района могут обладать и потенциально высокими количественными репродуктивными возможностями, реализация которых, вероятно, ограничивается регулятивным воздействием гидротермических условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чибрик Т.С., Войтенко И.В.* Структурно-динамическая организация формирующихся лесных фитоценозов на промышленных отвалах Среднего Урала // Итоги интродукции и селекции травянистых растений на Урале. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. университета, 2008. Вып. 2. С. 262–269.
2. *Орлов А.Я., Кошельков С.П.* Почвенная экология сосны. Москва, 1977. 323 с.
3. *Побединский А. В.* Изучение лесовосстановительных процессов. М., 1966. 59 с.
4. *Lehto J.N.* Tutkimuska mannyn lyontaisesta uulistumisesta Etela-Suomen kangasmailla // Acta forest fennica. 1956. Vol. 66. P. 96–107.
5. *Стрелковский А.Н., Куприянов А.Н.* Характеристика *Pinus sylvestris* L. subsp. *kulundensis* // Мат-лы II междунар. науч-практ. конф. «Антропогенное воздействие на лесные экосистемы». Барнаул, 2002. С. 126–128.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена по государственному заданию ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 0352-2019-0015).

УДК 630*181 (182.5)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛА, ВЛАГИ И ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

С.К. ФАРБЕР, Н.С. КУЗЬМИК

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (sfarber@ksc.krasn.ru, kuzmik@ksc.krasn.ru)

Формируются множественные уравнения регрессии. В качестве функции используется класс бонитета, в качестве независимых переменных – показатели тепла, влаги и плодородия почв. Исходная информация – материалы лесоустройства и данные ЦМР. Таксационный выдел дополнительно получает количественные показатели тепла, влаги и плодородия почвы с возможностью определения потенциальной продуктивности древесных пород.

DETERMINATION OF THE POTENTIAL PRODUCTIVITY OF WOOD SPECIES BY USING THE INDICATORS OF HEAT, MOISTURE AND FERTILITY OF SOIL

S.K. FARBER, N.S. KUZMIK

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (sfarber@ksc.krasn.ru, kuzmik@ksc.krasn.ru)

Multiple regression equations are formed. The class of bonitet is used as a function, and the indicators of heat, moisture, and soil fertility are used as independent variables. Baseline information – forest inventory materials and DEM data. The taxation allocation additionally receives quantitative indicators of heat, moisture and soil fertility, with the ability to determine the potential productivity of tree species.

Тестовый участок расположен в Красноярском Приангарье на территории Терянского лесничества. На севере по линии водораздела Ангары и Подкаменной Тунгуски участок граничит с Байкитским лесничеством Эвенкии. Здесь расположены истоки рек и ручьев, впадающих в Ангару с севера. Из них наиболее крупные – Верхняя Теря и Микчанда. Абсолютные высоты изменяются от 340 м на юге до 700 м на севере. Общий перепад абсолютных высот составляет 360 м. Средний уклон равен 3,6° (σ=±2,3°). Количество лесотаксационных выделов сосновых древостоев на участке составило 219, лиственничных – 731, кедровых – 478, еловых – 93.

Тепло. Температурный режим местоположений находится в зависимости от показателей рельефа. Отсюда следует, что при выявлении сопряженности характеристик лесного покрова с лесорастительными условиями количество тепла можно заменить показателями рельефа местности [2]. При наличии связи формируется уравнение регрессии $B_r=f(H,Asp,Sl,Cur)$, где B_r – класс бонитета, зависящий от количества тепла. Чтобы избежать необходимости формирования отдельных зависимостей для северных и южных экспозиций, румбам, симметричным относительно оси север – юг, присваивается одноименный индекс экспозиции.

Основные показатели рельефа – абсолютная высота, экспозиция, уклон и кривизна поверхности. Анализ проводился средствами ArcGIS Spatial Analyst. Для получения показателей рельефа использована ЦМР SRTM. Принята следующая градация показателей рельефа:

– *H* (абсолютная высота) – интервал 30 м;
– *Asp* (экспозиция) – интервал 30°;
– *Sl* (уклон) – интервал 2°;
– *Cur* (кривизна поверхности) – интервал 0,3 единицы кривизны.

Для древостоев тестового участка корреляция классов бонитета древостоев с показателями рельефа в основном отсутствует или слабая. Умеренная корреляция наблюдается только с абсолютной высотой H у сосны R=0,418 и ели R=0,284. Получены уравнения:

– сосняки – B_r=3,242+0,013*H^2 (R=0,426, R^2=0,181);

– ельники – B_r=3,992+0,098*H (R=0,284, R^2=0,081).

Кедр и лиственница – породы деревьев, адаптированные как к теплым, так и к холодным климатическим условиям. Полагаем, именно поэтому перепад абсолютных высот на текстовом участке на продуктивность кедровников и лиственничников заметно не влияет. Таким образом, влияние равнинного и всхолмленного рельефа на перераспределение тепла незначительно, и различие в теплообеспеченности местоположений не настолько велико, чтобы статистически значимо влиять на продуктивность древесных пород.

Влага. По описанию лесотаксационных выделов производится их сопоставление с получением ранжированного по степени влажности ряда типов леса. Оценка комплексная, учитывающая в т. ч. информацию из макета дополнительных сведений. По отношению к типам леса принимается последовательное увеличение от сухих к более увлажненным местоположениям. Порядковый номер (индекс) в ранжированном ряду отождествляется со степенью влажности почв [2]. При наличии связи формируется уравнение регрессии. Общий вид зависимости B_w=f(W), где W – порядковый номер (индекс) в ранжированном ряду влажности почв, B_w – класс бонитета, зависящий от влажности почв. Получены уравнения:

– сосняки – B_w=5,804-1,073*W+0,116*W^2 (R=0,369, R^2=0,136);

– лиственничники – B_w=6,004-0,920*W+0,068*W^2 (R=0,406, R^2=0,164);

– кедровники – B_w=6,234-0,543*W+0,033*W^2 (R=0,169, R^2=0,028);

– ельники – B_w=0,905+0,351*W (R=0,660, R^2=0,436).

Для тестового участка теснота связи влажности почв с продуктивностью сосновых, лиственничных и еловых древостоев умеренная, с продуктивностью кедровых – слабая. Насаждения тестового участка произрастают при определенной влажности. Сосняки занимают местоположения с индексами влажности от 1 до 7; лиственничники – от 5 до 10; кедровники – от 6 до 12; ельники – от 7 до 12. Еще более влажные местоположения занимают заболоченные кустарники. Получается, что влажность здесь лимитирует распространение пород деревьев, и этот факт далее используется при картографировании потенциальной продуктивности древесных пород. Так, местоположения с баллами влажности 1–6, 11 и более в качестве потенциально возможных для произрастания лиственницы выпадают.

Плодородие почв. Принимается, что класс бонитета древостоя – производное лесорастительных условий, в перечень которых входит в т. ч. плодородие лесных почв. Можно записать B_s=f(S), где B_s – класс бонитета древостоя, зависящий от плодородия почв; S – показатель лесорастительных условий. Класс бонитета древостоя B и наименование (тип) почв фигурируют в описании таксационного выдела в качестве характеристики. Для получения зависимости B_s=f(S) остается определиться с конструкцией показателя лесорастительных условий S.

Возможность сравнения появляется при использовании заранее оговоренной линии отсчета. В качестве показателя лесорастительных условий ранее было предложено отношение d/d_o, где d_o=$f(h)$; d, h – диаметр и высота главной породы древостоя [1]. Вообще же преимущество – за показателем, варьирующим менее других. Поэтому в качестве измерителя лесорастительных условий лучше использовать не отношение диаметров d/d_o, а отношение высот h/h_o. Тогда в качестве линии отсчета будет выступать усредненная линия роста по высоте (уравнение регрессии h_o=f(A), где

A – возраст древостоя, лет). Посредством введения дополнительного аргумента d точность оценок h_o повышается. Тогда $h_o=f(d,A)$, при этом началом отсчета будет уже не линия, а плоскость. Сопоставление плодородия почв возможно относительно отдельных древесных пород, в нашем случае относительно уравнений $h_o=f(d,A)$, индивидуальных для сосны, лиственницы, кедра и ели. Для одной древесной породы и типа почвы среднее значение показателя лесорастительных условий $S_i=\sum S/n$, где n – число таксационных выделов. Общее для пород деревьев и типа почвы средневзвешенное значение показателя лесорастительных условий $S_o=\sum(S_i*n_i)/N$, где $N=\sum n_i$.

Увеличение высоты и диаметра протекает во времени в закономерном порядке [1]. Получены уравнения:

– сосняки – h_o=-0,842+1,264*d-0,017*d^2 (n=219, R=0,872, R^2=0,761);

– лиственничники – h_o=1,387+0,020*A+1,037*d-0,013*d^2 (n=731, R=0,775, R^2=0,601);

– кедровники – h_o=5,106+0,708*d-0,007*d^2 (n=478, R=0,518, R^2=0,268);

– ельники – h_o=0,431+1,188*d-0,014*d^2 (n=93, R=0,946, R^2=0,895).

Последовательно рассчитаны показатели лесорастительных условий Si и S_o. Показатель S_i относится к одному наименованию почвы для i-й древесной породы. Соответственно оценка плодородия почв (и картирование) на основе Si возможна только для таксационных выделов i-й древесной породы. Показатель S_o относится ко всем древесным породам. Соответственно оценка плодородия почв (и картирование) на основе S_o уже возможна только на основании наименования почвы для всех таксационных выделов, включая выделы лиственных древостоев (березняки и осинники), выделы погибших насаждений, вырубки. Аналитический вид уравнений $B_s=f(S)$ получен по данным классов бонитета древостоев и показателям условий произрастания S_o таксационных выделов:

– сосняки – B_s=-13,764-31,597*S^2+48,890*S (n=219, R=0,513, R^2=0,263);

– лиственничники – B_s=50,597-87,021*S +39,459*S^2 (n=731, R=0,412, R^2=0,170);

– кедровники – B_s=-10,202-21,751*S^2+36,063*S (n=478, R=0,321, R^2=0,103);

– ельники – B_s=240,110-467,974*S +232,201*S^2 (n=93, R=0,378, R^2=0,143).

Продуктивность древостоев. Формируются многофакторные уравнения регрессии. В качестве предикторов можно использовать значения B_r, B_w, B_s таксационных выделов. Тогда общий вид зависимости $B_o=f(B_r,B_w,B_s)$, где B_o – класс бонитета, зависящий от тепла, влажности и плодородия почв. Количество вычислительной работы существенно сокращается, если в качестве предикторов используются непосредственно показатели рельефа и почв (для тестового участка $B_o=f(H,W,S_o)$). Расчет продуктивности древостоев производится для каждого таксационного выдела с внесением результатов в соответствующее поле атрибутивной таблицы ГИС, что определяет возможность последующего картографирования.

Получены уравнения:

– сосняки – B_o=7,910-7,470*S_o^2+0,092*H-0,176*W^2+1,422*W (R=0,622, R^2=0,387);

– лиственничники – B_o=69,119-124,701*S_o-0,005*H^2+60,779*S_o^2+0,063*H+0,050*W^2-
-0,704*W (R=0,466, R^2=0,217);

– кедровники – B_o=-4,599-15,368*So^2+0,015*H^2-0,203*H+23,446*S_o+0,285*W-0,016*W^2 (R=0,361, R^2=0,130);

– ельники – B_o=91,285-0,566*W-165,140*S_o+0,007*H^2+79,359*S_o^2+0,043*W^2 (R=0,735, R^2=0,540).

Картографирование потенциальной продуктивности произведено по значениям полей атрибутивной таблицы ГИС (абсолютная высота H, влажность почв W и плодородие почв S_o). Оказалось, что потенциальная продуктивность древесных пород на местоположениях тестового участка меняется синхронно. На лучших по режиму

увлажнения и плодородию почвах, расположенных на прогреваемых участках, могут выращиваться более производительные древостои. В пределах тестового участка наблюдается увеличение показателя B_o в южном направлении (по мере снижения абсолютной высоты местности). Поймы рек, ручьев заболочены и заняты кустарниками. Выравненные террасы и нижние вогнутые части склонов с глубокими дренированными почвами благоприятны для древостоев хвойных пород. Характеристики почвенно-грунтовых условий по мере уточнения можно редактировать в атрибутивной таблице таксационных выделов с последующим пересчетом аналитического вида уравнений регрессии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фарбер С.К.* Лесные измерения по среднемасштабным аэроснимкам. Красноярск: Изд-во СО РАН, 1997. 106 с.
2. *Фарбер С.К., Кошкарова В.Л., Кузьмик Н.С.* Картографирование лесных формаций голоцена с использованием основных показателей климата – тепла и влаги // Сиб. лесн. журн. 2017. 6. С. 26–40.

УДК 556.541

ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СТОК РЕКИ ЛЕНЫ В СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН И ЕГО ТРАНСФОРМАЦИЯ В ДЕЛЬТЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

И.В. ФЕДОРОВА[1], А.А. ЧЕТВЕРОВА[1, 2], О.Н. БОБРОВА[1], Р.Э. ЗДОРОВЕННОВ[3], Н.К. АЛЕКСЕЕВА[4, 2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия (i.fedorova@spbu.ru)
[2] Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия (a.chetverova@gmail.com)
[3] Институт водных проблем Кольского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия (romda@nwpi.karelia.ru)
[4] Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия (natalya.msk15@gmail.com)

В работе рассматриваются особенности геохимического стока р. Лены в Северный Ледовитый океан: сток растворенных и взвешенных веществ, тесно связанный со стоком воды. Сделаны оценки изменения стока в связи с изменением климата.

GEOCHEMICAL FLUX OF THE LENA RIVER TO THE ARCTIC OCEAN AND CURRENT RUNOFF TRANSFORMATION AT THE DELTA

I.V. FEDOROVA[1], A.A. CHETVEROVA[1,2], O.N. BOBROVA[1], R.E. ZDOROVENNOV[3], N.K. ALEKSEEVA[4, 2]

[1] Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia (i.fedorova@spbu.ru)
[2] Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia (a.chetverova@gmail.com)
[3] Institute of Water Problems of Kola Scientific Center RAS, Petrozavodsk, Russia (romda@nwpi.karelia.ru)
[4] Institute of oil and gas geology of A.A. Trofimuk Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia (natalya.msk15@gmail.com)

Particularities of geochemical runoff of the Lena River to the Arctic Ocean are being considered at this paper: flux of dissolved and suspended material with a connection of water runoff. Evaluation of runoff fluctuation under climate change is carried out as well.

Многолетний сток воды реки Лены. Ежегодный расход воды для реки Лены на замыкающем створе Кюсюр составляет 527 км^3/год. Многолетние измерения показывают, что наблюдается повышение стока воды с 1930 по настоящее время: для створа Кюсюр – с начала 40-х годов прошлого века и с начала 50-х годов – для станции Хабарова (дельта р. Лены). Для внутригодового распределения характерно увеличение стока воды в зимние периоды, что, скорее всего, связано с потеплением климата в Арктике и отмечаемым уменьшением продолжительности подледного периода [6]. В последние годы (2012–2017 гг.) для р. Лены характерна положительная тенденция изменения стока: ежегодное превышение составляет 8,2 % по данным Росгидромета [1]. Однако наиболее интенсивное увеличение стока реки отмечается с конца 80-х годов прошлого века [2]. Со стоком воды, безусловно, связан и сток растворенных и взвешенных веществ, что сказывается на их поступлении в Северный Ледовитый океан (СЛО) и на формировании прибрежных экосистем.

Сток растворенного углерода в СЛО. Одним из наиболее важных элементов, которые попадают в СЛО с речным стоком арктических рек, является растворенный органический углерод (РОУ, или DOC – dissolved organic carbon). Для дельты р. Лены стоит выделять зимний и летний РОУ, а также содержание РОУ в озерах, протоках и стекающих с ледового комплекса ручьях. Для зимнего периода характерно значение РОУ для проток дельты от 13 до 15,5 мг/л и для озер – от 5,7 до 33,7 мг/л. Летом

содержание растворенного углерода в озерах намного меньше: самые маленькие значения 3,5 мг/л связаны, видимо, с поступлением талой или атмосферной воды, а в воде озер РОУ достигает 9,6 мг/л (DOC as NPOC – органический углерод, который нельзя отделить [10]). Для проток характерны значения 4–23 мг/л. Самые высокие концентрации РОУ, до 70 мг/л, были обнаружены в ручьях, стекающих с ледового комплекса о. Курунгнах: это обусловлено тем, что ручьи несут большое количество частиц почвы, богатых органикой [5]. Однако поступление обогащенных органикой речных вод в шельфовые зоны моря Лаптевых может трансформировать РОУ: порядка 30–50 % DOC теряется на шельфе, что приводит к выделению CO_2 и, возможно, последующему потеплению климата [4]. Для водных экосистем важно наличие именно «старого» растворенного углерода, который в 50 % случаев потребляется микробами в течение 7 дней [9].

Загрязнения реки Лены. Главные источники загрязнения реки Лены – сточные воды судов речного флота, портов, нефтебаз, верфей, завода ремонта судов в г. Киренске, а также более 35 предприятий добычи золота. По данным Росгидромета [1], в верховье р. Лены (п. Качуг) речная вода характеризовалась II классом качества: «слабо загрязненная». В городах Усть-Кут и Киренск качество воды в последние годы улучшилось и было оценено I классом качества («условно чистая») и II классом («слабо загрязненная») соответственно. В большинстве пунктов наблюдений на реке Лене и ее притоках вода была оценена III классом качества – «загрязненная». В пунктах Олекминск, Якутск, Покровск ее оценили как «грязную» (IV класс качества).

Долгосрочное наблюдение за качеством поверхностной воды бассейна реки Лены [1] демонстрирует, что самые широко распространенные загрязнители – это легко окисляемые органические вещества, фенолы, нефтепродукты, соединения железа, меди, марганца, превышение максимальной допустимой концентрации которых в 2007 и в 2012 г. в реке Лены составляло 36 и 40 %, 48 и 51 %, 16 и 12 %, 50 и 58 %, 85 и 86 %, 29 и 32 % соответственно.

Установлено, что малые водотоки бассейна впадают «в р. Лену в умеренно загрязненном состоянии». Самое большое загрязнение было отмечено на створе Кюсюр и станции Хабарова (дельта р. Лены), где класс качества изменился на IV – «очень грязные» воды. Для этих створов в 2007 г. отмечалась антропогенная экологическая напряженность, что отразилось в регрессе видового состояния и численности зообентоса. Подобные изменения были отмечены в заливе Тикси. Так, питьевое озеро п. Тикси (озеро Мелкое) в различные сезоны года изменяет экологический статус от «чистого» до «загрязненного», что, безусловно, сказывается на качестве жизни в поселке.

Разнообразие и количественная структура индикаторов качества воды, таких как сине-зеленые водоросли, показывают, что антропогенное влияние на фитоценозы на створе Кюсюр незаметно, а для устьевой экосистемы реки Лены отмечается экологическое благополучие. За период 2014–2016 гг. индексы качества воды по зообентосу не изменяются и остаются на уровне долговременных индексов. Сообщества макрозообентоса не рассматриваются в связи с коротким летним вегетационным периодом и чрезвычайными условиями жизни гидробионтов. Экосистемы дельты реки Лены нужно рассмотреть как экологически благополучные [8].

Придонные и поверхностные воды за последние 10 лет характеризовались как «слабо загрязненные». В 2017 по индексу фитопланктона качество воды придонного слоя изменилось от «грязного» до «условно чистого». В течение прошлых 10 лет вода озера Мелкого (п. Тикси) в придонном и в поверхностном слоях характеризовалась как

«слабо загрязненная». Наблюдались небольшие колебания качества воды в различные годы.

По данным многолетних полевых наблюдений авторов, повышенные концентрации металлов и биогенных элементов в устье реки Лены и озерах дельты не были отмечены ни в летний, ни в весенний периоды (2002–2018 гг.).

Высокая концентрация основных и второстепенных (микро-) элементов может быть приурочена к стоку водотоков с ледового комплекса (*Ca, K, Mg, Cl, SO_4, HCO_3, Br, Ba, Fe, Mn, S, Zn*). Концентрации биогенных элементов в водотоках с ледового комплекса изменяются от 334 мкг/л NO_3 до 2153 мкг/л. У термокарстовых озер на 3-й (сложенной ледовым комплексом) террасе дельты Лены отмечается высокая концентрация *Na, Cl* и *Sr* [3, 7].

Прибрежные воды во время половодья могут содержать повышенные концентрации кремния *Si* и стронция *Sr*, что объясняет повышение содержания этих элементов в старичных дельтовых водоемах. Превышение значений железа *Fe* является результатом заболоченности местности в тундре и обогащения этим элементом вод. Содержание стронция может быть объяснено двумя основными факторами – естественным повышенным фоновым содержанием для бассейна р. Лены в целом и/или радиоактивностью воды. Согласно данным Росгидромета, загрязнение стронцием не было отмечено в дельте Лены наряду с повышенным значением трития 3H. Однако полевые измерения содержания стронция в воде и взвешенных веществах также показывают повышенное значение этого элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Обзор* состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2007–2017 годы // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Москва, 2008–2018.
2. *Федорова И.В., Большиянов Д.Ю., Макаров А.С., Третьяков М.В., Четверова А.А.* Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены. Монография «Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены. Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития» / под ред. Х. Кассенс, А.П. Лисицына, Й. Тиде, Е.И. Поляковой, Л.А. Тимохова. М.: Изд-во МГУ, 2009.
3. *Четверова А.А., Федорова И.В., Фролова Л.А., Нигаматзянова Г.Р., Скороспехова Т.В., Шадрина А.А.* Особенности формирования качественных характеристик вод и наносов в дельте реки Лены // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2017. Т. 159. Кн. 1. С. 122–138.
4. *Alling V., Sanchez G.L., Porcelli D., Pugach S., Jorien E. Vonk, Bart van Dongen, Mörth C.M., Anderson L.G., Sokolov A., Andersson P., Humborg C., Semiletov I., and Gustafsson Ö.* Nonconservative behavior of dissolved organic carbon across the Laptev and East Siberian seas GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES. V. 24. GB4033, 2010. DOI: 10.1029/2010GB003834.
5. *Bobrova O., Fedorova I., Chetverova A., Potapova T., Dmitriev V., Runkle B., Morgenstern A., Eulenburg A.* Current dissolved organic carbon content in the Lena delta in comparison with historical data for East Siberian Arctic Rivers. Proceedings of International conference THAW 2014 – THermokarst Aquatic ecosystems Workshop, 12–15 March 2014, Quebec City, Canada. [Электронный ресурс.] URL: http://www.cen.ulaval.ca/thaw2014/document/THAW_2014_full_programme.pdf.
6. *Bring A., Fedorova I., Dibike Y., Hinzman L., Mård J., Mernild S.H., Prowse T., Semenova O., Stuefer S.L., Woo M.-K.*. Arctic terrestrial hydrology: A synthesis of processes, regional effects and research challenges // Journal of Geophysical Research. G: Biogeosciences. 2016. 121 (3). Pp. 621–649.
7. *Chetverova A., Skorospekhova T., Morgenstern A., Alekseeva N., Spiridonov I. & Fedorova I.* Hydrological and hydrochemical characteristics of lakes in the Lena River delta (Northeast-Siberia, Russia). Polarforschung. 2018. P. 111–125. DOI: 10.2312/polarforschung.87.2.111.

8. *Frolova L., Nigamatsyanova G., Fedorova I.* Stratigraphy of Cladocera in a core for a Yamal peninsula lake (Russian Arctic). Materials of the 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Vol. 2. Book 4. 30 June – 6 July 2016, Albena, Bulgaria. Pp. 579–585.
9. *Spencer R.G.M., Mann P.J., Dittmar T., Eglinton T.I., McIntyre C., Holmes R.M., Zimov N., and A. Stubbins*. Detecting the signature of permafrost thaw in Arctic rivers, Geophys. Res. Lett. 2015. 42. 2830–2835. DOI: 10.1002/ 2015GL063498.
10. *Water* Analysis Guidelines for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) and Dissolved Organic Carbon (DOC), ISO-CEN EN 1484:1998, ICS 13.060.30, CEN European Committee for Standardization, Brussels, 1998. Pp. 3–4.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-05-60291 «Адаптация арктических лимносистем к быстрому изменению климата»).

УДК 630*182.59

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ОСОБЕННОСТЬ МЕТОДИКИ УЧЕТА ПОГЛОЩЕНИЯ CO_2 ЛЕСАМИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.Н. ФИЛИПЧУК[1], Б.Н. МОИСЕЕВ[2], Н.В. МАЛЫШЕВА[1]

[1] ФБУ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ФБУ ВНИИЛМ), Пушкино, Московская область, Россия (afilipchuk@yandex.ru, nat-malysheva@yandex.ru)
[2] ООО НПЦ «Лесное дело», Москва, Россия (bmoiseev@yandex.ru)

Выполнен анализ и дана критическая оценка принципиального положения методики учета поглощения углерода лесами России, принятой для подготовки национального кадастра выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов Российской Федерации. Исходя из специфики статистических данных о запасах стволовой древесины в ГЛР предложен метод расчета поглощения CO_2 лесами России по среднегодовому приращению (приросту) запаса стволовой древесины. Метод и алгоритмы расчета экспериментально опробованы с использованием данных ГЛР на 01.01.2016.

A KEY FEATURE OF PROCEDURE THE ESTIMATING OF CARBON SEQUESTRATION IN THE FORESTS OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.N. FILIPCHUK[1], B.N. MOISEEV[2], N.V. MALYSHEVA[1]

[1] All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Pushkino, Moscow region, Russia (afilipchuk@yandex.ru, nat-malysheva@yandex.ru)
[2] LLC «Lesnoye Delo», Moscow, Russia (bmoiseev@yandex.ru)

The analysis of the principal position of the method for carbon absorption accounting by Russian forests adopted for the national inventory GHG emissions and removals has been carried out and critical assessment has been given. The method for calculating of CO_2 absorption by Russian forests by the average annual increment of stem wood stock taken into consideration the specificity of forest statistic data in the State Forest Register has been proposed. The method and algorithms were experimentally tested using the State Forest Register data as of January 1, 2016.

В свете международных обязательств Российской Федерации и мер по государственному регулированию выбросов ПГ, принимаемых для ратификации Парижского соглашения, совершенствование методов учета поглощения/эмиссий CO_2 лесами и снижение уровня неопределенности расчетов приобретают особое значение.

В 2017 г. коллектив сотрудников ФБУ ВНИИЛМ разработал методику учета поглощения CO_2 лесами Российской Федерации [4]. Методика подготовлена на основе методологических принципов и рекомендаций руководств Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [5, 6] и отвечает международным правовым документам и нормативной базе, принятой на добровольной основе. В основе методики – результаты многолетних исследований ФБУ ВНИИЛМ в области таксации, инвентаризации и лесоустройства, анализа состояния и динамики лесов России, оценки полноты, качества и достоверности данных о лесных ресурсах и количественной оценки составляющих углеродного баланса. Методика включает последовательность выполнения и алгоритмы количественной оценки запасов углерода, поглощения углерода, эмиссий, баланса углерода и их динамики в лесах Российской Федерации по данным отраслевой статистической отчетности (государственного лесного реестра – ГЛР, отчетов об исполнении полномочий субъектами Российской Федерации – ОИП).

В Российской Федерации для составления национального кадастра парниковых газов с 2010 г. используется методика региональной оценки бюджета углерода лесами – РОБУЛ [http://www.cepl.rssi.ru/regional.htm]. В 2017 г. научными подразделениями Росгидромета разработаны и утверждены распоряжением Минприроды РФ от 30 июня

2017 г. № 20-р «Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов лесами и иными экосистемами», которые наследуют в части расчета объема поглощения CO_2 лесами методические положения РОБУЛ. Одно из принципиальных различий методики, разработанной ВНИИЛМ, и методики РОБУЛ состоит в подходе к оценке поглощения углерода лесами. Полемика по этому вопросу длится уже не один год.

В методике РОБУЛ для оценки годичного поглощения углерода в пуле надземной фитомассы применяется модель расчета, основанная на разнице изменения запасов древесины в последовательных группах возраста древостоев из базы данных ГЛР. Этот метод расчета приводит к статистически недостоверным результатам, т. к. полученная разница запасов значительно меньше ошибки их измерения. Метод расчета «по изменению запаса» в методике РОБУЛ реализован с помощью уравнения «сглаженной средней». Этот способ, по утверждению разработчиков, позволяет определить «текущий прирост» запаса древостоев за учетный год и в конечном счете поглощение углерода фитомассой [2]. Нелишне напомнить, что в понятие «прирост» (общая производительность), кроме изменения запаса растущей части насаждения, таблицы хода роста включают естественный отпад. Следуя логике предложенного уравнения расчетов «текущего прироста» [http://www.cepl.rssi.ru/regional.htm], можно утверждать, что в результате будет получено среднее (сглаженное) значение изменения запасов углерода в пуле фитомассы за период времени, используемый в расчетах. Этот временной период составляет при возрасте технической спелости для основной группы хвойных пород ЕУЧР 81 год: для молодняков первого класса возраста – 60 лет, для остальных возрастных групп – 80 лет. В группе возраста «перестойные насаждения» изменение запаса по предложенному уравнению рассчитать не представляется возможным. Можно предположить, что именно поэтому разработчики методики РОБУЛ приняли для перестойных древостоев нулевое значение прироста. Результаты опубликованных научных исследований опровергают это допущение и показывают, что в старовозрастных лесах (терминологический аналог перестойной группы возраста) умеренной и субарктической климатических зон баланс углерода положительный [3, 7].

Предложенное в методике РОБУЛ уравнение «сглаженной средней» занижает значение изменения запаса углерода в приспевающих и спелых насаждениях. При вычислении изменения запаса углерода в приспевающих насаждениях участвуют значения среднего запаса углерода (на га) двух возрастных интервалов: между приспевающими и средневозрастными насаждениями и между спелыми и приспевающими. В спелых насаждениях начинается заготовка древесины. В рубку отводят наиболее производительные насаждения I–III классов бонитета. Происходит накопление насаждений IV–V классов бонитета, имеющих значительно меньший средний запас древесины и, соответственно, углерода на 1 га по сравнению с величинами, которые приводятся в таблицах хода роста [1]. Вычисленные значения «текущего прироста» по методике РОБУЛ, особенно в регионах с интенсивным использованием лесов для заготовки древесины, резко уменьшаются (до отрицательных значений) уже в насаждениях приспевающей группы возраста и гарантированно приобретают отрицательное значение в спелой возрастной группе.

В методике ВНИИЛМ предложен метод расчета по среднегодовому приращению (приросту) запаса углерода, поскольку текущий прирост определить или рассчитать на основе имеющихся данных ГЛР не представляется возможным. Расхождения между среднегодовым приростом запаса и текущим приростом запаса составляют порядка 10 %. Превышение среднего прироста над текущим (10 %) проиллюстрировано рис. 1 на примере типичного для России соснового насаждения IV класса бонитета с полнотой 0,6 и средним возрастом 94 года [1]. Таким образом, исходя из специфики

используемых данных ГЛР, правомерно использовать среднегодовой прирост запасов стволовой древесины в расчетах поглощения углерода лесами.

Текущий прирост можно определить при повторных измерениях на постоянных пробных площадях как средний за период между измерениями. Именно таким способом определяется значение текущего прироста в национальных инвентаризациях лесов (НИЛ) зарубежных стран, что в последующем используется при учете поглощения CO_2 лесами в национальном кадастре. Аналогичным образом можно будет определить текущий прирост по данным повторных измерений на постоянных пробных площадях при повторном цикле государственной инвентаризации лесов России.

Алгоритмы и разработанная методика [4] экспериментально опробованы по данным ГЛР на 01.01.2016.



Рис.1. Расхождение между средним и текущим приростом для сосняков IV класса бонитета полнотой 0,6 со средним возрастом 94 года

ЛИТЕРАТУРА

1. *Всесоюзные* стандарты для инвентаризации лесного хозяйства / В.В. Загреев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, Н.Н. Гусев и А.Г. Мошкалев. М.: Колос, 1993. 495 с.
2. *Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н.* Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. 6. С. 16–28.
3. *Луиссар С., Шульц И.Д., Бернер А., Кнол А., Гессенмюллер Д., Лоу Б.И., Сиэ Ф., Грейс Дж.* Старовозрастные леса как глобальный сток углерода // Устойчивое лесопользование. 2018. 4 (56). С. 32–35.
4. *Методика* учета поглощения CO_2 в лесах Российской Федерации / Мартынюк А.А., Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Малышева Н.В., Страхов В.В., Золина Т.А., Югов А.Н., Паленова М.М. Пушкино: ВНИИЛМ, 2017. 82 с.
5. *Руководящие* указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003. 330 с.
6. *Руководящие* принципы национальных инвентаризаций парниковых газов ЗИЗЛХ. МГЭИК, 2006. Т. 2, 4. 93 с. [Электронный ресурс.] URL: http://ipcc-nggip.iges.or.jp.
7. *Magnani F. et al.* The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests // Nature. 2007. 447: 848–850.

УДК 630.43

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТИ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ

В.В. ФУРЯЕВ, П.А. ЦВЕТКОВ, И.В. ФУРЯЕВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

Приведены краткие определения пожароустойчивости лесов, более подробно изложено представление о долговременной пожароустойчивости светлохвойных лесов.

MODERN CONCEPTS OF FIRE RESISTANCE OF BOREAL FORESTS

V.V. FURYAEV, P.A. TSVETKOV, I.V. FURYAEV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Brief definitions of fire resistance of forests are given, a more detailed view of the long-term fire resistance of light coniferous forests is presented.

До второй половины XX столетия термина «пожароустойчивость» официально не существовало, поэтому его не оказалось в наиболее полном списке лесопирологических терминов [1].

В общепринятом понимании пожароустойчивость насаждений – это «способность деревьев и их сообществ сохранять жизнедеятельность после теплового воздействия при лесном пожаре» [2], а также поддерживать при этом свою эдификаторную роль.

Лесоводственный ущерб в этом случае оценивается по фактической гибели древостоя (отпаду деревьев в % от их количества или запаса до пожара). В обычных условиях, на доступных территориях работы по расчету ущерба не вызывают особых трудностей, хотя они и велики при больших площадях пожара.

При многовековом воздействии пожаров на леса таежных ландшафтов происходят очень сложные процессы, косвенным результатом которых является смена соотношений древесных пород в структуре ландшафтов.

Для оценки пожароустойчивости лесов разных ландшафтов нами предложен термин «длительновременная пожароустойчивость лесов». Она измеряется соотношением в структуре ландшафтов коренных насаждений, не горевших 200 и более лет – сосновых, лиственничных, – и производных послепожарных сообществ. В бореальных лесах чаще всего таковыми являются березово-осиновые сообщества.

Идентификация длительновременной пожароустойчивости проводится путем дешифрирования аэрокосмических снимков. Установлено, что особенности соотношения в составе лесов различных ландшафтов, коренных и производных сообществ определяются экологическими режимами природных территориальных комплексов [3].

Применительно к термину «длительновременная пожароустойчивость лесов» различных ландшафтов находят свое использование понятия «огнестойкость древесных пород» и «пирофитность лесных формаций» [4, 5]. Под пирофитностью лесных формаций (сосновые, лиственничные, осиновые, березовые и др.) понимается хорошая биоэкологическая адаптация их к условиям гаревого экотопа, что выражается в их способности заселять площади гарей и сохранять ареал на бывших гаревых субстратах.

Изложенное можно тезисно изложить следующими положениями.

1. Бореальные леса Евразии на протяжении многих веков подвергаются периодическому воздействию природных (возникающих от молний) и антропогенных (возникающих по вине человека) пожаров.
2. По статистике, ежегодно в этих лесах возникает до 40 тысяч лесных пожаров, а площади, пройденные огнем, достигают 8 млн гектаров.

3. По действующему законодательству каждый пожар должен оцениваться по причиненному им экологическому и лесоводственному ущербу.
4. Лесоводственный ущерб обычно учитывается по фактической гибели или отпаду деревьев в процентах от их количества или запаса до пожара.
5. Расчет ущерба по отпаду деревьев применяется достаточно давно и технически не вызывает особых затруднений [6, 7].
6. Оценку пожароустойчивости биогеоценоза по отпаду деревьев после первого пожара мы предлагаем называть «первичной». Однако лесообразовательный процесс на пройденных первым огнем площадях продолжается под воздействием неоднократно повторяющихся пожаров.
7. По нашему предложению для оценки пожароустойчивости лесов разных ландшафтов используется термин «длительновременная пожароустойчивость». Она определяется составом пород в структуре ландшафтов, т. е. соотношением коренных (не горевших более 200 лет) и производных послепожарных сообществ, сложенных, как правило, березой и осиной. Идентификация длительновременной пожароустойчивости проводится путем дешифрирования аэрокосмических снимков. Установлено, что особенности соотношения в составе лесов коренных и производных сообществ изменяются в широких пределах и определяются экологическими режимами природных территориальных комплексов, а также огнестойкостью древесных пород,

ЛИТЕРАТУРА

1. *Курбатский Н.П.* Терминология лесной пирологии // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Изд-е Института леса СО АН СССР, 1972. С. 171–231.
2. *ГОСТ* 17.01.-83. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения. Госкомитет СССР по стандартам. М. 1 с.
3. *Киреев Д.М.* Лесное ландшафтоведение. Санкт-Петербург: СПбЛТА, 2007. 540 с.
4. *Шешуков М.А., Пешков В.В. Михель В.А.* О повышении пожароустойчивости лесных культур // Лесное хозяйство. 1986. С. 53–55.
5. *Цветков П.А.* Устойчивость лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири. Красноярск, 2007. 250 с.
6. *Мусин М.С.* Определение отпада до и после пожара и методы повышения пожароустойчивости древостоев в борах Казахского мелкосопочника // Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1973. С. 278–300.
7. *Фуряев В.В.* Пожароустойчивость лесов и методы ее повышения // Прогнозирование лесных пожаров. Красноярск, 1978. С. 123–176.

УДК 630: 574.42

ХВОЙНЫЕ СИБИРИ В МЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ

В.И. ХАРУК[1, 2], С.Т. ИМ[1, 2, 3], И.А. ПЕТРОВ[1], А.С. КАТАРЧЯН[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (viharuk@ksc.krasn.ru, stim@ksc.krasn.ru, petrov.ia@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (kantarchyan-alis@mail.ru)
[3] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

Выполнен анализ динамики и причин усыхания древостоев, сформированных *Pinus sibirica и Abies sibirica*, в пределах ареалов указанных видов в Сибири.

SIBERIAN CONIFERS IN THE CHANGING CLIMATE

V.I. KHARUK[1, 2], S.T. IM[1, 2, 3], I.A. PETROV[1], A.S. KATARCHYAN[2]

[1] V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (viharuk@ksc.krasn.ru, stim@ksc.krasn.ru, petrov.ia@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (kantarchyan-alis@mail.ru)
[3] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

The dynamics and causes of *Pinus sibirica* – dominant and *Abies sibirica* – dominant stands decline and mortality were analyzed.

Потепление климата повлекло изменение прироста и жизненного состояния хвойных Сибири и бореальных лесов в целом [1, 2]. В начальной фазе возрастание температуры воздуха (с 1970-х гг.) индуцировало увеличение индекса прироста (ИП) основных лесообразующих пород. Однако начиная с 1990-х наблюдается возрастающее усыхание древостоев, сформированных влаголюбивыми хвойными (*Pinus sibirica*, *Abies sibirica)*. Усыхание происходит на фоне снижения ИП этих видов начиная с 1983–84 гг., когда стимулирование ИП температурой сменилось его депрессией вследствие возрастания водного стресса (рис. 1). В этот период усилилась зависимость ИП от условий влагообеспечения, тогда как связь с температурой ослабла либо стала негативной.

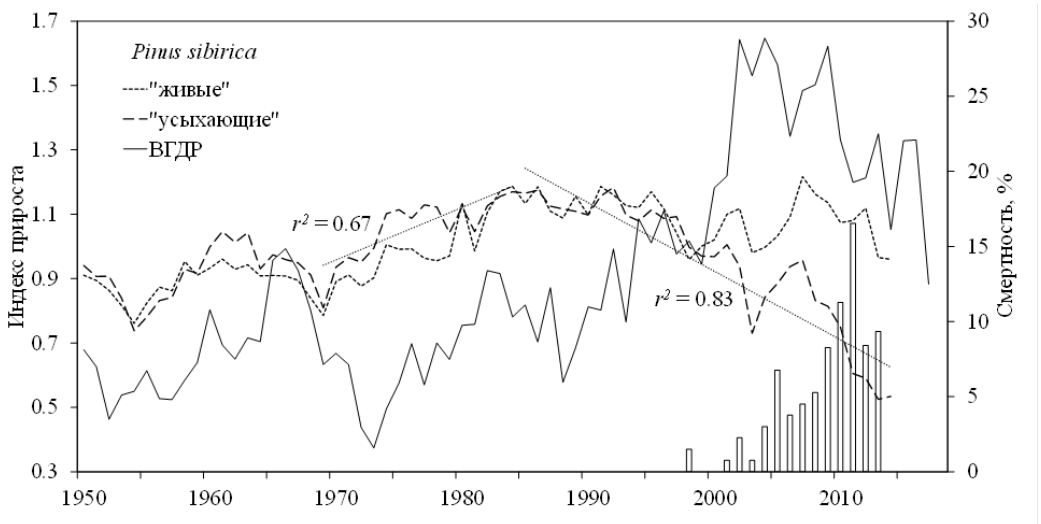


Рис. 1. Динамика индекса прироста и смертности деревьев *Pinus sibirica*. Размер выборки в когортах: «живые» – N = 114; «усыхающие» – N = 143; «верхняя граница древесной растительности» (ВГДР) – N = 91. Различия между когортами «живых» и «усыхающих» деревьев значимы с 2003 г. ($p < 0,05$)

Ослабленные водным стрессом древостои подверглись атакам фитопатогенов, включая ранее не наблюдавшегося в ареале пихты сибирской *Polygraphus proximus*, что повлекло усыханию пихтарников и кедровников на обширных территориях. Установлено, что неповрежденные либо восстановившиеся древостои произрастали в лучших местообитаниях, включая условия увлажнения. Площади усыхания темнохвойных коррелируют с суммой положительных температур [$\Sigma(t>0$ °C)], снижаясь с возрастанием влажности корнеобитаемого слоя и уменьшением засушливости климата (рис. 2).

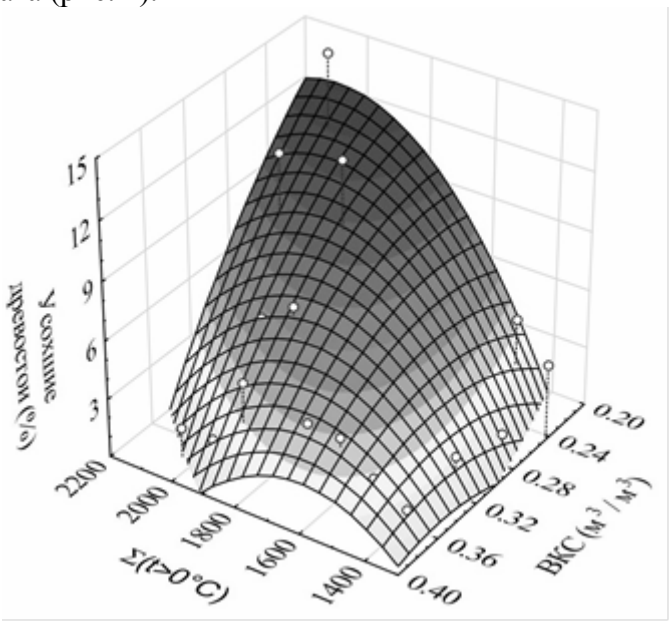


Рис. 2. Зависимость усыхания древостоев с преобладанием *Pinus sibirica* от суммы положительных температур и ВКС (влажности корнеобитаемого слоя)

Рельеф местности оказывает сильное модифицирующее воздействие на реакцию древостоев на изменение климата. Погибшие древостои локализуются преимущественно в низкогорьях на крутых склонах юго-восточной экспозиции (рис. 3).

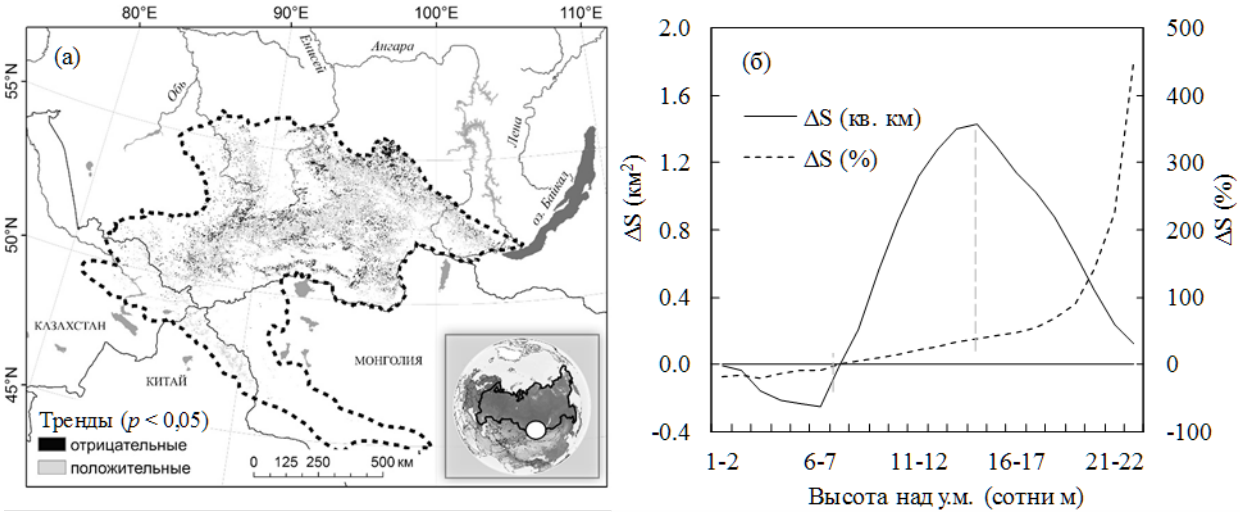


Рис. 3. Усыхание хвойных в Алтае-Саянском регионе (а – тренды площадей, б – изменения площадей в зависимости от высоты произрастания н. у. м.)

С возрастанием высоты произрастания смертность деревьев снижается. В зонах достаточного увлажнения (преимущественно высокогорья) происходило возрастание

сомкнутости древостоев и ИП деревьев, а также продвижение верхней границы древостоев и древесной растительности по градиенту высоты. Наряду с этим наблюдалось смещение на север границы хвойных. В настоящее время площадь усыхания кедровых и пихтовых древостоев оценивается величинами >4 % и >7 % ареалов кедра и пихты в Сибири соответственно, продолжая возрастать. Значительная часть усыхания кедровников (~30 %) обусловлена воздействием *Dendrolimus sibiricus*, поражающего древостои вне зависимости от их стресса. Панзональные вспышки массового размножения как сибирского шелкопряда, так и уссурийского полиграфа были индуцированы потеплением и возрастающей засушливостью климата.

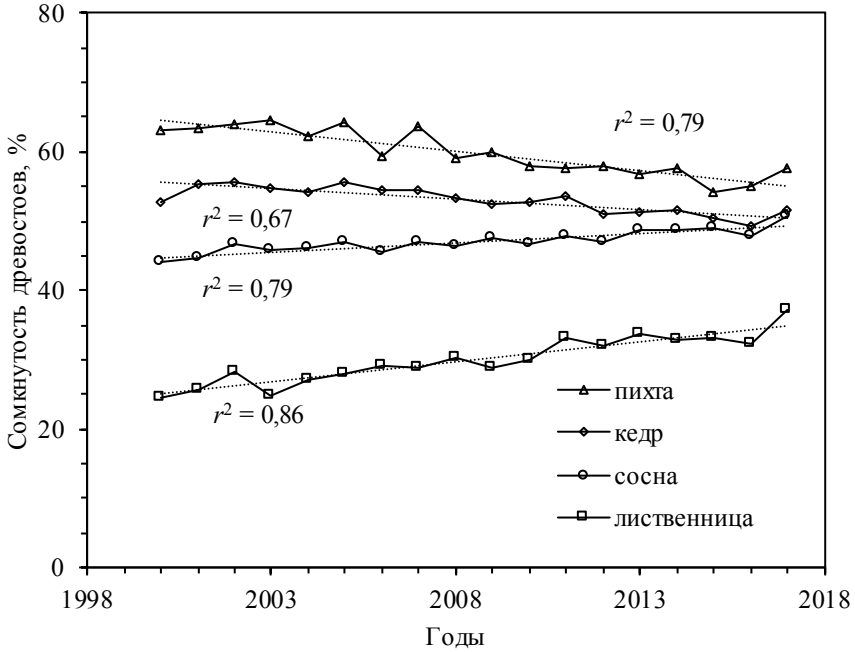


Рис. 4. Динамика площади сомкнутых древостоев с преобладанием кедра, пихты, сосны и лиственницы в Алтае-Саянском регионе

В целом основной причиной усыхания *Pinus sibirica* и *Abies sibirica* является ослабление древостоев водным стрессом (первичный фактор) в синергизме с атаками дендрофагов (вторичный фактор). В аспекте прогнозируемого возрастания аридности климата следует ожидать сокращения площадей кедровников и пихтарников в южных низкогорных частях ареалов кедра и пихты с замещением толерантными видами. Имеющиеся данные о возрастании в Алтае-Саянском регионе сомкнутости древостоев, сформированных *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica,* происходящем на фоне снижения сомкнутости пихтарников и лиственничников, подтверждают указанный прогноз (рис. 4).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Millar C.I., Stephenson N.L.* Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance // Science. 2015. 349 (6250): 823–826. https://doi.org/10.1126/science.aaa9933.
2. *Kharuk V.I., Im S.T., Petrov I.A., Golyukov A.S., Ranson K.J., Yagunov M.N.* Climate-induced mortality of Siberian pine and fir in the Lake Baikal Watershed, Siberia // Forest Ecology and Management. 2017. 384. 191–199. https:// doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.050.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 18-05-00432 и 18-45-240003).

УДК 582.76/77:581.14

АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ *ACER NEGUNDO* L. В УСЛОВИЯХ НАРУШЕННЫХ ПОЙМЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

О.Л. ЦАНДЕКОВА

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН «Институт экологии человека», Кемерово, Россия (zandekova@bk.ru)

В статье анализируются результаты влияния аллелопатически активных веществ *A. negundo* на прорастание травянистых растений. Выявлено, что на ростовые процессы тест-культур оказали стимулирующий эффект почвы подкроновой и прикроновой зон *A. negundo* в сравнении с контрольной зоной. Вероятно, исследуемые виды, обладающие экологической пластичностью и приспособленностью к обитанию в условиях естественного ареала, определяются не только аллелопатическим влиянием корневых выделений клена, но, в большей мере, факторами внешней среды. Экспериментальные данные можно использовать в оценке состояния структуры фитоценоза.

ALLELOPATHIC EFFECT OF *ACER NEGUNDO* L. IN CONDITIONS OF DISTURBED FLOODPLAIN PHYTOCENOSES

O.L. TSANDEKOVA

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS «Institute of Human Ecology», Kemerovo, Russia (zandekova@bk.ru)

The article analyzes the results of the influence of allelopathically active substances of *A. negundo* on the germination of herbaceous plants. It was revealed that the growth processes of the test cultures had a stimulating effect on the soil of the under and front crown zones of *A. negundo*, in comparison with the control zone. Probably, the studied species with ecological plasticity and adaptability to living in natural habitat conditions are determined not only by the allelopathic effect of root maple excretions, but, to a greater extent, by environmental factors. Experimental data can be used in assessing the state of the phytocenosis structure.

Активное распространение и успешное проникновение в природные сообщества *Acer negundo* L. предопределено его аллелопатическими свойствами [2, 5]. Он оказывает значительное влияние на формирование травостоя в своем подкроновом пространстве. Создавая полный тенистый полог своими кронами, он заглушает и подавляет рост самосева и подроста растений, препятствует их естественному возобновлению. Аллелопатический эффект некоторых групп веществ, выделяемых кленом, может быть различным – в одних условиях они выступают как ингибиторы, в других – как стимуляторы ростовых процессов [3, 4]. В настоящее время исследуются химические взаимодействия преимущественно сельскохозяйственных культур, в то время как взаимодействия травянистых видов в естественных фитоценозах требуют изучения.

Цель работы – оценить аллелопатическое влияние *Acer negundo* L. в условиях нарушенных пойменных фитоценозов по биометрическим показателям проростков травянистых растений.

В качестве модельных объектов использовали семена донника лекарственного *(Melilotus officinalis* (L.) Pall.), мятлика лугового *(Poa pratensis* L.), чистотела большого (*Chelidonium majus* L.). Выбор видов растений обоснован их распространенностью в естественных фитоценозах под насаждениями *Acer negundo* L., а также их быстрым ростом. Семена травянистых растений высевали в начале июля в контейнеры с почвой, отобранной под насаждениями *A. negundo* в трансформированных растительных сообществах в пойме р. Томь в пределах г. Кемерово. Образцы почвы отбирали в подкроновых (ПН1) и прикроновых (ПН2) зонах клена ясенелистного. В качестве

контроля была выбрана внешняя (ПН3(к)) зона одиночных деревьев. Насаждения *A. negundo* на исследуемых площадках оценивались первой категорией жизненного состояния по шкале В.А. Алексеева и первым классом бонитета. Возраст деревьев составлял 20–25 лет. Живой напочвенный покров исследуемых участков образован разнотравно-злаковым сообществом с преобладанием *Urtica dioica* L., *Poa pratensis* L., *Phleum pratense* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski., *Humulus lupulus* L. с общим проективным покрытием 40–90 %.

Подсчет биометрических показателей исследуемых тест-объектов проводили на основе определения высоты и массы проростков [1]. Линейные параметры высоты определяли с помощью линейки, сухую надземную массу – на электронных лабораторных весах BM213M-II с точностью до 0,05 г. Для исследований ростовых показателей использовали выборку из десяти растений в трехкратной повторности с каждой исследуемой площадки. Данные представлены в виде средних арифметических значений и их среднеквадратических (стандартных) ошибок. Экспериментальные данные обработаны статистически с помощью компьютерных программ Microsoft Office Excel 2007 и Statistica 6.1.

Анализ результатов исследований показал, что физиологически активные вещества *A. negundo* неоднозначно влияли на ростовые процессы травянистых растений. Эксперимент выявил, что быстрее других видов прорастал донник лекарственный – на всех площадках наблюдений. Сравнительная характеристика травянистых растений на исследуемых площадках наблюдений показала, что на ростовые процессы тест-культур оказали значительный стимулирующий эффект почвы подкроновой и прикроновой зон клена ясенелистного в сравнении с внешней контрольной зоной. Отмечено, что у *M. officinalis* и *Ch. majus* биометрические показатели выше, чем у *P. pratensis*, особенно на ПН1. Так, высота проростков донника и чистотела, выращиваемых в почве подкроновой зоны (ПН1), составила 22,67 и 11,5 см, что выше в 2 и 2,8 раза соответственно, чем у проростков контрольной зоны. Масса травянистых растений варьировала в пределах от 1,28 до 5,3 г, что превысило контроль в 1,2–2,1 раза. Наибольшие отличия по массе растений отмечены у *M. officinalis* в сравнении с другими видами растений и контролем (рис. 1).

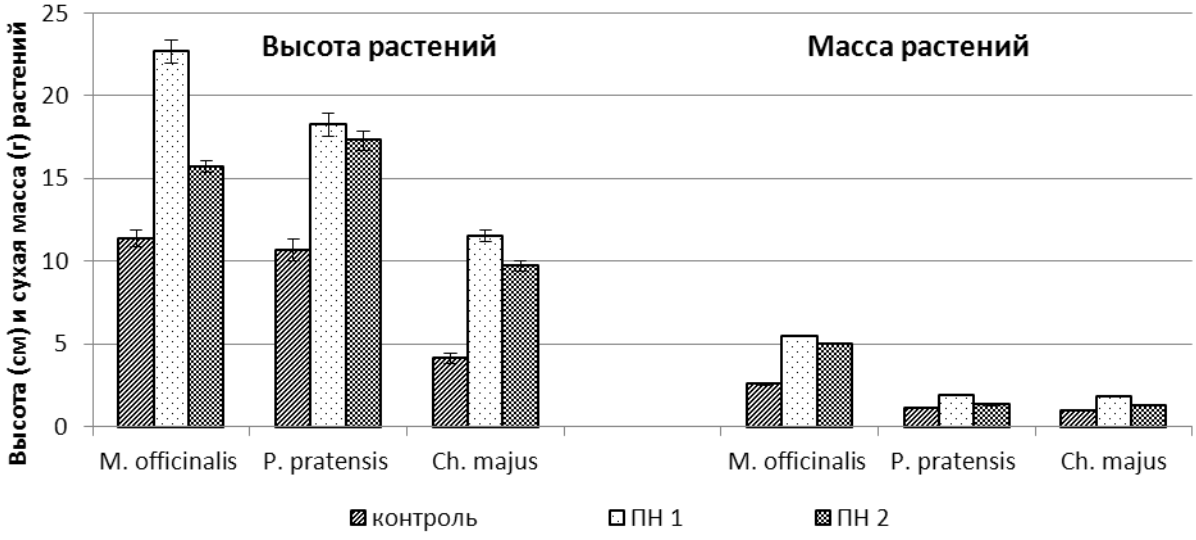


Рис. 1. Биометрические показатели тест-культур в различных фитогенных зонах *A. negundo* L.

Таким образом, аллелопатически активные вещества, содержащиеся в почве *A. Negundo,* оказывали положительное действие на прорастание проростков травянистых растений, особенно в прикроновой зоне. Вероятно, исследуемые виды, обладающие экологической пластичностью и приспособленностью к обитанию в условиях естественного ареала, определяются не только аллелопатическим влиянием корневых выделений клена, но, в большей мере, факторами внешней среды в условиях нарушенных пойменных фитоценозов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г.* Большой практикум по биоэкологии: учеб. пособие. Йошкар-Ола: Изд-во Марийского гос. ун-та, 2006. 107 с.
2. *Гусев А.П., Шпилевская Н.С., Веселкин Д.В.* Воздействие *Acer negundo* L. на восстановительную сукцессию в ландшафтах Беларуси // Веснік Віцебскага дзяржаўнага універсітэтаб. 2017. 1 (94). С. 47–53.
3. *Ерёменко Ю.А.* Аллелопатическая активность инвазионных древесных видов // Российский журнал биологических инвазий. 2014. 2. С. 33–39.
4. *Лозбякова А.И., Степанов М.В.* Биотестирование химического влияния опада листьев древесных растений // Научный альманах. 2018. 6–2 (44). С. 104–109.
5. *Del Fabbro C., Prati D.* Invasive plant species do not create more negative soil conditions for other plants than natives // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 2015. 17 (2): 87–95.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена по государственному заданию ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 0352-2019-0015).

УДК 630*439

ЛАБОРАТОРИЯ ЛЕСНОЙ ПИРОЛОГИИ ИЛ СО РАН: 60 ЛЕТ, ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

П.А. ЦВЕТКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (tsvetkov@ksc.krasn.ru)

Лаборатория лесной пирологии в 2019 г. отмечает 60-летие со дня образования. За время своего существования коллектив лаборатории добился значительных успехов. Развиваются исследования по ряду важных теоретических проблем, а также прикладных разработок, актуальных для лесного хозяйства Сибири.

LABORATORY OF FOREST PIROLOGY, SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST, SIBERIAN BRANCH OF THE RAS: 60-TH ANNIVERSARY, OUTCOMES AND PERSPECTIVES

P.A. TSVETKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (tsvetkov@ksc.krasn.ru)

In 2019 Laboratory of Forest Pirology celebrates its 60-th anniversary. The laboratory staff have achieved significant successes. The number of researches on important theoretical problems are being carried out, as well as applications relevant for forests of Siberia.

Лаборатория лесной пирологии ИЛ СО РАН является единственным специализированным научно-исследовательским подразделением в системе Российской академии наук. В 2019 году она отмечает 60-летие со дня образования.

Лаборатория была создана в 1959 г. по инициативе директора института А.Б. Жукова. Ее организатором и первым заведующим стал Н.П. Курбатский.

Основным направлением деятельности лаборатории было определено исследование природы пожаров в лесах Сибири как теоретической основы для разработки техники и тактики их тушения. С этого времени лесопирологические исследования в институте приняли целенаправленный, систематизированный характер.

Исследованиями были охвачены Средняя Сибирь, Забайкалье и некоторые другие регионы. Итогом фундаментальных исследований на первом этапе деятельности лаборатории стала публикация ряда важных материалов, таких как монография Н.П. Курбатского «Техника и тактика тушения лесных пожаров», в которой обобщены результаты многолетних исследований по проблеме, а также двух научных сборников в издательстве «Наука». В этих и других публикациях нашли отражение важные вопросы лесной пирологии. Был сделан анализ проблемы лесных пожаров в широкой исторической постановке и дано теоретическое обобщение основных закономерностей их природы в таежной зоне. Важным итогом явилась разработка классификации лесных горючих материалов. Эта классификация в дальнейшем получила свое развитие в многочисленных работах и в своей основе используется до настоящего времени. Выполнен ряд прикладных разработок: лесопожарное районирование и местные шкалы пожарной опасности для лесов Средней Сибири, Красноярского края, Иркутской области, Забайкалья, Тюменской области. Разработаны: классификация пожаров в лесном фонде, рекомендации по применению отжига для локализации интенсивных пожаров, основы классификации по степени пожароопасности лесов и др. Проблема лесных пожаров комплексная. Поэтому к ее разработке Н.П. Курбатский привлек ученых различных институтов СО АН СССР: химической физики, радиотехники и электроники, оптики атмосферы, горного дела, биологии и др. В составе лаборатории лесной пирологии была создана группа по изучению физики и химии горения при лесных пожарах.

Быстрое развитие лесной пирологии как науки требовало координации в масштабах СССР фундаментальных исследований и прикладных разработок. В связи с этим по инициативе проф. Н.П. Курбатского в институте стали регулярно проводиться координационные совещания (1971, 1973, 1975, 1978, 1984 г.). В 1978 г. состоялось Первое всесоюзное совещание «Горение и пожары в лесу». В соответствии с его решением была разработана целевая программа «Лесные пожары», значение которой сохраняется до сих пор.

Большое значение для практической организации охраны лесов от пожаров в масштабах страны имело принятие лесопожарной стратегической концепции, сформулированной профессором Н.П. Курбатским, на основе которой должна проводиться техническая политика государства в области лесопожарной охраны. Предложенная стратегическая концепция учитывалась при организации охраны лесов как в стране в целом, так и в краях, областях и даже в лесхозах.

В начале 70-х годов XX в. были начаты работы по исследованию природы лесных пожаров в бассейне оз. Байкал. Цель исследования – совершенствование системы пожарной охраны лесов. Общее руководство исследованиями осуществляли Н.П. Курбатский и М.Д. Евдокименко. По итогам этих работ опубликован научный сборник.

В 1975 году Н.П. Курбатский по состоянию здоровья оставил должность заведующего лабораторией лесной пирологии. Заведующим был назначен Э.Н. Валендик.

В 70–80-е годы прошлого века по инициативе А.С. Исаева начали интенсивно разрабатываться методы космического мониторинга. Мониторинг лесных пожаров стал важной составляющей частью общего космомониторинга. Были определены его задачи: оценка пожарной обстановки крупных регионов, обнаружение лесных пожаров, оценка пройденной огнем площади, характеристика послепожарных последствий. В составе лаборатории была создана группа, которая стала работать по аэрокосмической тематике. Впоследствии она была выделена в самостоятельный сектор аэрокосмических методов исследования лесов.

На объектах Ангаро-Енисейского региона были проведены наблюдения и эксперименты по воздействию пожаров на почву, напочвенный покров, подрост, подлесок, древостой, послепожарный прирост, возрастную и товарную структуру насаждений. В Эвенкии начаты исследования природы пожаров в лесах криолитозоны. В связи с этим в Туре был организован стационар. На его базе работали сотрудники лаборатории лесной пирологии, других лабораторий ИЛ СО РАН, родственных институтов и вузов страны, а также зарубежные коллеги. В результате исследований в северных лесах и редколесьях установлена их основная экологическая особенность – определяющая роль температурного режима почвы при почти полном отсутствии световой конкуренции в силу длительного светового дня и высокой изреженности древостоев. Разработано представление о пирогенных свойствах древесных пород как комплексе адаптаций, выработанных под воздействием пожаров. Дана оценка роли пожаров как одного из главных факторов существования северных лесов и редколесий.

В 90-е годы было положено начало установлению научных контактов российских ученых с коллегами из США, Канады, Германии и других стран. Заключены договоры по проведению совместных исследований природы пожаров в бореальных лесах Сибири. В 1993 году проведена первая Международная конференция «Пожары в бореальных экосистемах Евразии», в которой приняли участие ученые из 32 стран. В это же время был проведен международный пожарный эксперимент на лесном острове Бор, который положил начало широкому сотрудничеству ученых в Евразийском регионе и во всем мире. Результаты совместных научных исследований в последующие 25 лет были отражены в многочисленных публикациях, которые обеспечили

углубленное понимание лесоводственно-экологических, социально-экономических и климатических последствий лесных и других пожаров растительности в умеренно-бореальной зоне Евразии. В 1994 году был заключен российско-американский договор «Влияние пожаров на бореальные леса Евразии». С российской стороны его возглавила старший научный сотрудник лаборатории лесной пирологии Г.А. Иванова, а с американской – начальник отдела научных исследований лесной службы США Сюзан Конард. В рамках проекта ежегодно организовывались международные экспедиции. В 2000–2007 гг. проведена серия крупномасштабных экспериментов по моделированию поведения лесных пожаров и их воздействия на светлохвойные леса Красноярского края. В России подобные эксперименты были проведены впервые. В них принимали участие ученые из лесной службы США, Канадской лесной службы, профильных институтов РАН и вузов России. Были получены данные по отпаду деревьев, сгоранию фитомассы и эмиссиям дымовых веществ, оценено их влияние на баланс углерода. Результаты исследований опубликованы в монографиях, статьях в отечественных и зарубежных журналах, а также использованы при подготовке докторских и кандидатских диссертаций.

В 2000 г. заведующим лабораторией стал д. с.-х. н. В.В. Фуряев. В этот период сменилась парадигма в охране лесов от пожаров. Возникла необходимость перехода от концепции пожаротушения, предусматривающей борьбу со всеми возникшими пожарами, к концепции пожароуправления, основанной на принципах приоритетно-выборочной очередности их тушения. В лаборатории начата разработка системы прогноза поведения пожаров, положенная в основу стратегии пожароуправления. Предложены способы повышения пожароустойчивости лесов. Разработана технология контролируемых выжиганий на вырубках в горных условиях, позволяющая регулировать послепожарный тип их зарастания. Были разработаны указания по применению контролируемых выжиганий в темнохвойных лесах и планы выжиганий, а также созданы демонстрационные объекты для долговременного изучения послепожарных сукцессий.

В 2005 г. заведующим был избран д. б. н. П.А. Цветков. В это время коллектив лаборатории сконцентрировался на исследованиях по научной проблеме «Трансформация структуры и экологических функций лесов Сибири под воздействием пожаров и их роль в природно-климатических изменениях». В рамках этой проблемы была разработана стратегия охраны от пожаров ленточных боров Алтая. Сотрудники лаборатории продолжали активно участвовать в международных проектах совместно с коллегами из США, Канады, Германии, Франции, Китая. Неоднократно выезжали за рубеж для участия в международных конференциях, принимали у себя иностранных ученых. Сотрудничество и тесное общение с иностранными специалистами обогатили отечественную лесную пирологию зарубежным опытом и знаниями, а также сделали результаты российских ученых достоянием международной научной лесной общественности.

В 2008 году исполнилось 100 лет со дня рождения профессора Н.П. Курбатского. Коллектив лаборатории выступил инициатором и организатором Всероссийской конференции с международным участием «Пожары в лесных экосистемах Сибири», посвященной этому юбилею. Были изданы материалы конференции.

В настоящее время внимание сотрудников лаборатории сосредоточено на исследовании природы пожаров в лесах Сибири с целью снижения их пожарной опасности, повышения пожароустойчивости, прогноза поведения пожаров, оценки их воздействия на баланс углерода и компоненты лесных биогеоценозов. Главной задачей при этом является изучение особенностей горения различных комплексов лесных горючих материалов и закономерностей, характеризующих природу пожаров. Эти

знания служат основой для разработки средств и способов предупреждения, обнаружения, ликвидации пожаров и их последствий, поиска путей использования позитивной роли огня в лесу.

В итоге можно отметить, что коллектив лаборатории лесной пирологии за время ее существования добился значительных успехов. Развиваются исследования по ряду важных теоретических проблем, а также прикладных разработок, актуальных для лесного хозяйства Сибири. Они служат научной основой для планирования охраны лесов от пожаров, определения средств и способов их тушения, повышения эффективности работы лесной охраны, рационального использования позитивной роли огня. Результаты ряда исследований получили признание как у нас в стране, так и за рубежом.

За период деятельности лаборатории 7 ее сотрудников защитили докторские диссертации и 18 – кандидатские.

УДК 630*43

РОЛЬ ПОЖАРОВ В ФОРМИРОВАНИИ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ СОСНЯКОВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

П.А. ЦВЕТКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (tsvetkov@ksc.krasn.ru)

Сосновые леса отличаются повышенной горимостью. Приводится оценка роли пожаров в формировании среднетаежных сосняков. Содержатся количественная и качественная характеристики естественного возобновления сосны. Сделан вывод, что лесные пожары способствуют возобновлению сосны обыкновенной, обладая определенной лесовозобновительной эффективностью.

THE ROLE OF FIRES IN FORMATION OF MIDDLE TAIGA PINE FORESTS IN MIDDLE SIBERIA

P.A. TSVETKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (tsvetkov@ksc.krasn.ru)

Pine forests are characterized by increased inflammability. It provides evaluation of forest fires in formation of middle taiga pine forests. It contains quality and quantity characteristics of natural regeneration of pines. It is concluded that forest fires promote regeneration of Scots pine, they have some forest regeneration effectiveness.

Сосновые леса Средней Сибири отличаются высокой природной пожарной опасностью и являются наиболее горимыми формациями. На их долю приходится более половины всех пожаров. Прослеживается устойчивая тенденция возрастания горимости сосняков. В результате образуются большие площади гарей, которые не всегда возобновляются хозяйственно ценными породами. Поэтому весьма актуальным является вопрос оценки естественного лесовозобновления на гарях, которое является биологической предпосылкой длительного существования лесных экосистем. Особое значение имеет его начальный этап, во многом определяющий успешность лесообразования.

Целью наших исследований было дать оценку роли пожаров в формировании сосняков Средней Сибири. Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи: проследить динамику появления и выживания всходов сосны на гарях; установить зависимость появления всходов от толщины недогоревшего слоя лесной подстилки; определить возобновительную эффективность пожаров.

Исследования проведены в равнинных среднетаежных сосновых насаждениях зеленомошной группы типов леса. Объектами служили чистые сосняки с редкой примесью березы. Были подобраны и отбиты полигоны размером 200х200 м, на которых проведены крупномасштабные контролируемые выжигания. При оценке лесовозобновления ему давались количественная и качественная характеристики. Количественные показатели определяли по методике проф. А.В. Побединского [2]. Динамику появления всходов и их выживание отслеживали методом повторных наблюдений на одних и тех же закрепленных на местности учетных площадках. Качественную характеристику устанавливали по жизненному состоянию возобновления, используя методику проф. В.А. Алексеева [1]. Лесовозобновительную эффективность пожаров находили как отношение числа всходов на гари к числу всходов на контроле. Для выявления зависимости числа всходов от толщины недогоревшего слоя лесной подстилки его замеряли на тех же учетных площадках с трехкратной повторностью. Число всходов затем сопоставляли со средним значением толщины подстилки.

В результате проведенных исследований установлено, что численность подроста под пологом зеленомошных сосняков до пожара достаточно высокая и варьировалась от 11 до 30 тыс. экз. на 1 га, чего достаточно для формирования нового поколения древостоя [2]. Встречаемость возобновления колебалась в пределах 52–92 %, что говорит о различном характере его размещения по площади. Индекс обилия указывает как на куртинное, так и на одиночное произрастание подроста. В целом количественную оценку начального этапа лесовозобновительного процесса можно признать удовлетворительной. Качественное состояние допожарных субценопопуляций подроста оценивается как ослабленное [1]. Индекс жизнеспособности при этом изменялся от 52 до 58 %.

Для изучения динамики появления послепожарного возобновления проводились повторные наблюдения на гарях на протяжении 14 лет. Установлено, что на следующий после пожара год (пожар был в 2000 г.) появились массовые всходы сосны. Однако в последующем, вплоть до 2014 года, появление всходов после сильного пожара резко сократилось. При этом жизненное состояние послепожарного возобновления характеризуется более высокими значениями индекса жизнеспособности (80—90 %) и оценивается как здоровое.

При оценке естественного возобновления важно проследить динамику выживания всходов. Вычисляли ее по данным повторных наблюдений в процентах от числа всходов в первый послепожарный год. Установлено, что в первые 3 года после пожара погибло более 95 % изначально появившихся всходов.

Одним из важных факторов, определяющих успешность лесовозобновления на первом его этапе, является толщина лесной подстилки. Наблюдения показали, что наилучшие условия для появления всходов сосны на гарях в среднетаежных сосняках Средней Сибири складываются при толщине недогоревшего слоя лесной подстилки около 3 см. Это объясняется тем, что более толстый ее слой является механическим препятствием для проникновения семян в почву. Кроме того, в жаркую погоду подстилка пересыхает и для прорастания семян и роста всходов в ней не хватает влаги. Задерживаясь в лесной подстилке, семена не прорастают, либо их проростки не достигают почвы и в итоге погибают. Кроме того, застрявшие в подстилке семена частично уничтожаются птицами и мышевидными грызунами. При сильном выгорании подстилки и ее малой толщине ухудшаются трофические условия, происходит иссушение почвы, увеличивается ее щелочность. В результате формируется неблагоприятный для появления и роста всходов субстрат. Поэтому численность их также уменьшается.

Известно, что на гарях обычно появляется обильное возобновление светлохвойных пород. При этом число всходов на гарях зачастую превышает число всходов под пологом древостоев до пожара. То есть пожары, формируя благоприятную для роста и развития всходов среду, содействуют появлению естественного возобновления сосны обыкновенной и тем самым обладают определенной лесовозобновительной эффективностью. Коэффициент лесовозобновительной эффективности представляет собой отношение числа всходов на гари к числу всходов на участке, не пройденном пожаром. В нашем случае оказалось, что после сильных пожаров число всходов на гарях было в 5–7, а после пожаров средней силы – в 3–5 раз больше, чем на контрольных участках. В целом же коэффициент возобновительной эффективности пожаров в разных типах леса среднетаежных сосняков Красноярского края варьируется от 4 до 92. Это говорит о высокой лесовозобновительной эффективности пожаров. Сосна обыкновенная, являясь типичным пирофитом, активно заселяет гари, хорошо растет и развивается на них, поскольку условия послепожарного экотопа соответствуют ее экологическим требованиям. Таким образом, пожары

являются природным фактором, содействующим естественному возобновлению сосны обыкновенной.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Хороший рост и развитие сосны на гаревых экотопах обусловлены тем, что условия гари в целом соответствуют ее экологическим требованиям. Поэтому пожар является фактором, содействующим естественному возобновлению сосны.

2. Определяющими для появления и роста всходов сосны обыкновенной на гарях являются погодные и лесорастительные условия, наличие семян, а также сила пожара, определяющая степень прогорания почвенного субстрата.

3. Количественная оценка возобновления сосны характеризует репродуктивный потенциал исследуемых насаждений и эколого-лесоводственные условия, необходимые для появления, роста и развития нового поколения леса. Она касается численности подроста, его встречаемости и обилия. Количественную оценку начального этапа лесовозобновительного процесса можно признать удовлетворительной, так как численность послепожарной генерации сосны в лесах Средней Сибири обычно достаточна для формирования новых поколений леса.

4. Качественная оценка предполагает определение жизненного состояния отдельных особей подроста и генерации в целом. Эти характеристики являются индикатором экологических и фитоценотических условий произрастания лесов. Жизненное состояние допожарных субценопопуляций подроста сосны характеризуется как ослабленное. Главной причиной ослабления являются болезни ассимилирующего аппарата. Кроме того, подрост испытывает угнетение со стороны живого напочвенного покрова и древесного яруса. Состояние же послепожарных генераций оценивается в основном как здоровое. Но со временем оно также постепенно ухудшается.

5. Оптимальная толщина недогоревшего слоя лесной подстилки, при которой появляется наибольшее число всходов сосны обыкновенной, в среднем составляет 3 см. Более мощная подстилка является механическим препятствием для проникновения семян в почву. При сильном же ее выгорании ухудшаются трофические и гидротермические условия, происходит иссушение почвы, повышается ее щелочность.

6. Лесные пожары способствуют возобновлению сосны обыкновенной, в чем проявляется позитивная роль огня.

В заключение отметим, что лесные пожары по своим масштабам имеют планетарное значение, носят глобальный характер. Огонь является одним из важнейших эколого-эволюционных факторов внешней среды, оказывающим определяющее влияние на леса с доисторических времен. Формирование лесов, размещение их по территории, жизненное состояние, продуктивность и другие важные процессы протекают под постоянным воздействием пожаров. В связи с этим можно считать, что все леса, или подавляющее большинство из них, – это пирогенные сообщества, т. е. сообщества, возникшие и существующие в результате повторяющихся пожаров.

Поскольку масштабность пирогенного воздействия на окружающую среду носит глобальный характер, для решения проблемы необходимы комплексные, междисциплинарные исследования, требующие объединения усилий ученых многих стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. 4. С. 51–57.
2. *Побединский А.В.* Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 63 с.

УДК 630.5/18/23/52/235.5

ФОРМИРОВАНИЕ МОЛОДНЯКОВ НА ВЫРУБКАХ В НИЖНЕМ ПРИАНГАРЬЕ

И.А. ЦЕЛИТАН[1], В.А. СОКОЛОВ[1], И.М. ДАНИЛИН[1, 2]

[1] Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (igor57@akadem.ru; sokolovva@ksc.krasn.ru; danilin@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

Рассматриваются особенности послерубочного формирования сосновых и смешанных по составу молодняков в Нижнем Приангарье (Красноярский край). Анализируются таксационная характеристика, строение и биологическая продуктивность древостоев.

FORMATION OF YOUNG STANDS ON LOGGING AREAS IN THE LOWER PRIANGARIE

I.A. TSELITAN[1], V.A. SOKOLOV[1], I.M. DANILIN[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (igor57@akadem.ru; sokolovva@ksc.krasn.ru; danilin@ksc.krasn.ru)
[2] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

Specifics of after logging development of pine and mixed by composition tree stands in the Lower Priangarie (Krasnoyarsk Krai) are considered. Forest inventory parameters, structure and biological productivity of a tree stands are analyzed.

Изучение реакций лесных экосистем на различные виды техногенных, антропогенных и природных воздействий (вырубки, пожары, воздействие насекомых-вредителей, опасные природные явления и др.) актуально для познания общих и географических закономерностей лесообразовательного процесса, выявления механизмов структурно-функциональной организации лесных биогеоценозов, антропогенной динамики нарушенных лесных сообществ [1–8].

Основой для подобных исследований служит оценка состояния древостоев, их статических и динамических параметров, связанных с наиболее существенными биологическими процессами – строением, ростом и продуктивностью, – и потому более точно, чем другие виды оценок, характеризующая их жизненное состояние, динамику органического вещества, взаимодействие с окружающей средой [3, 8–10].

В Нижнем Приангарье накопились значительные площади лесов, сформировавшихся на вырубках и гарях естественным образом. Эти лесные насаждения выполняют очень важные биосферные, почвозащитные и водоохранные функции в регионе [1, 3, 4, 8].

Закономерности формирования, строения и биологической продуктивности этих насаждений изучены недостаточно как с точки зрения теории лесообразовательного процесса, так и в практическом отношении – их роли в послерубочной и послепожарной рекультивации лесных земель, охране водных объектов, что и явилось целью данной работы.

Исследования проводили на территории Чуноярского лесничества в Богучанском районе Красноярского края. Координаты района исследований – 57° с. ш., 98° в. д. В данном районе преобладают сосновые леса, представленные сосной обыкновенной *Pinus sylvestris* L.

Сосняки являются объектом интенсивной промышленной эксплуатации и активно вырубаются в течение последних 40 лет, преимущественно с использованием технологии сплошных вырубок на больших площадях и тяжелой агрегатной лесозаготовительной и транспортировочной техники. Большинство вырубок

неоднократно пройдены пожарами различной интенсивности.

Вместе с тем на вырубках, на легких песчаных и супесчаных почвах, преимущественно по террасам рек, повсеместно присутствует естественное возобновление. Сохранность всходов достаточно высока, и на третьем-пятом году после вырубки численность подроста зачастую превышает 50 тыс. деревьев на гектар, что обеспечивает эффективное восстановление исходного вида в относительно короткий промежуток времени. К стадии смыкания молодняков, примерно через 15–20 лет, восстанавливаются живой напочвенный покров и подстилка. Преобладают сосновые молодняки толокнянко-лишайникового и бруснично-зеленомошного типа, а также смешанные сосново-осиново-березовые насаждения осочково-разнотравного типа, сформировавшиеся на вырубках и гарях естественным образом. В данных насаждениях с целью изучения структуры и продуктивности древостоев была заложена серия пробных площадей (табл. 1).

Пробные площади (300–800 м^2) располагались на склонах различной экспозиции и крутизны, преимущественно на вторых и третьих прирусловых террасах рек, а также на водоразделах. Нано- и микрорельеф на пробных площадях выражены слабо, в виде небольших редких повышений, западин и лощин стока. Почвы имеют песчаный, супесчаный и суглинковый механический состав, подстилаются гравийно-галечниковым аллювием, увлажнены умеренно. Мерзлота не представлена, сезонное оттаивание верхних почвенных горизонтов происходит в конце мая – середине июня.

Методами, принятыми в лесной таксации, на пробных площадях определяли размеры стволов и крон деревьев, структуру и продуктивность древостоев. Фитомасса определялась взятием модельных деревьев от каждой ступени толщины (7–10 модельных деревьев на каждой пробной площади) и разделением их на фракции. От каждой фракции фитомассы дерева в полевых условиях брались образцы и навески на влажность, которые в последующем, в лабораторных условиях, высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянного веса и взвешивались на электронных весах с точностью ±1 г. В дальнейшем массу фракций в абсолютно сухом состоянии выравнивали аналитически, суммировали по ступеням толщины стволов и пересчитывали на 1 га. Полевые работы и измерения проводили в период завершения активной вегетации растений, во второй половине августа.

Древостои молодняков одновозрастные, образованы деревьями сосны обыкновенной, чистые по составу на легких песчаных и супесчаных почвах по речным террасам и смешанные, с участием в составе березы и осины, на суглинках по водоразделам. Строение древостоев характеризуется выраженным равномерно групповым распределением деревьев по площади, высокой (>1,0) сомкнутостью крон в биогруппах и дифференциацией деревьев на хорошо растущие и отставшие в росте. Стволы ровные, прямые, без признаков морозобоин, пожарных подсушин и гнилей. Кроны преимущественно правильной формы, узкие, ажурные. В биогруппах деформация крон отсутствует даже в случаях взаимопроникновения ветвей.

Ряды распределения деревьев по основным морфометрическим показателям значительно растянуты, с высокой крутизной и правосторонней асимметрией. Коэффициенты варьирования основных таксационных показателей изменяются от 43 до 74 %. Столь высокие показатели варьирования признаков объясняются ростовой дифференциацией деревьев на начальных стадиях формирования древостоев, их корневой и кроновой конкуренцией за питательные вещества, свет и влагу. Для распределения деревьев по основным таксационным признакам характерна автокорреляция. Морфометрические показатели стволов и крон деревьев тесно коррелируют между собой и с фитомассой деревьев (R = 0,791–0,958).

Таблица 1. Таксационная характеристика и фитомасса древостоев пробных площадей

№ ПП	Состав	Доминанты напочвенного покрова	Порода	Средние			Густота, тысяч деревьев/га	Древесный запас, $м^3$/га	Надземная фитомасса древостоя, т/га абсолютно сухого вещества					Среднегодичный прирост фитомассы, т/га
				Возраст, лет	Диаметр, см	Высота, м			Стволы	Ветви		Хвоя, листья	Итого	
										живые	отмершие			
1	100С	Толокнянка, кладония	Сосна	12	1,1	1,5	94,6	23,1	7,2	1,3	0,4	2,0	10,9	0,9
2	100С	Брусника, зеленые мхи	Сосна	15	2,4	2,6	6,8	7,6	3,5	0,6	0,1	0,8	5,0	0,3
3	62.8С 33.8Ос 3.4Б	Разнотравье	Сосна	15	3,6	5,5	3,8	13,0	4,4	0,8	0,2	0,9	6,3	0,4
			Осина	15	3,2	6,2	2,3	7,0	2,7	0,2	0,1	0,4	3,4	0,2
			Береза	15	2,8	5,7	1,0	0,7	0,7	0,07	0,01	0,12	0,9	0,06
4	61.1С 23.9Ос 15.0Б	Разнотравье	Сосна	28	6,5	8,4	4,8	69,0	33,0	4,7	0,9	3,7	42,3	1,5
			Осина	30	4,7	8,8	3,3	27,0	13,7	1,8	0,3	0,7	16,5	0,6
			Береза	25	6,9	11,2	0,8	17,0	8,0	1,6	0,2	0,4	10,2	0,4
5	80.4С 19.6Б	Разнотравье	Сосна	36	5,3	6,2	10,4	86,0	31,1	4,5	0,8	4,0	40,4	1,1
			Береза	30	8,2	9,0	0,8	21,0	10,7	2,0	0,3	0,5	13,5	0,5
6	100С	Брусника, зеленые мхи	Сосна	36	5,8	8,8	10,3	126,0	53,7	7,7	1,4	7,0	69,8	1,9
7	95.8Ос 2.6С 1.6Б	Разнотравье	Осина	15	4,4	8,5	4,7	30,0	11,5	1,0	0,1	1,7	13,8	0,9
			Сосна	15	5,3	6,0	3,2	0,8	0,27	0,05	0,01	0,06	0,39	0,03
			Береза	15	2,8	5,0	0,2	0,5	0,22	0,02	0,003	0,027	0,27	0,02
8	77.3Ос 20.4Б 2.3С	Разнотравье	Осина	15	3,6	6,9	8,1	34,0	15,9	1,4	0,2	2,4	19,9	1,3
			Береза	15	5,0	7,6	1,1	9,0	4,2	0,9	0,1	0,2	5,4	0,4
			Сосна	15	2,3	2,9	0,8	1,0	0,21	0,04	0,01	0,01	0,27	0,02

Итоговые значения вычисленной надземной фитомассы древостоев пробных площадей представлены в табл. 1.

Максимальное значение надземной фитомассы исследованных древостоев составило около 70 т/га в пересчете на сухое вещество и отмечено на ПП6. Структурно соотношение фракций фитомассы древостоев закономерно изменяется с увеличением их среднего возраста и густоты. На ранних стадиях развития доля кроновой массы и хвои значительно выше, чем в древостоях старшего возраста, и изменяется соответственно от 30 % (ПП 1, 2) в возрасте 12–15 лет до 22–23 % в возрасте 36 лет (ПП 5, 6).

Более объективно особенности продукционного процесса отражаются приростом фитомассы, а не ее общим запасом [9, 10]. Текущий прирост деревьев по толщине и высоте стволов закономерно возрастает с увеличением их морфометрических показателей. Максимальные значения линейных приростов отмечены у деревьев с наиболее развитой кроной и стволами. Аналогичная закономерность прослеживается и на примере среднего годичного прироста фитомассы по наличному запасу.

Максимально свой биологический потенциал в данных условиях 36-летний древостой сосны (в его надземной части) реализует в среднем за весь период развития на уровне 1,9 т/га сухого вещества в год. На стволовую часть древостоя приходится около 77 % прироста фитомассы. Прирост кроновой массы составляет 22 %, из которых 11 % приходится на живые ветви и 10 % на хвою. Доля прироста массы отмерших ветвей составляет порядка 2 %.

При естественном течении лесообразовательного процесса, учитывая некоторое замедление темпов роста сосны после 30 лет [8, 10], восстановление исходного запаса органического вещества на вырубках можно прогнозировать примерно через 120–150 лет. Однако этот период может быть значительно более длительным при сильных внешних воздействиях, таких как лесные пожары, вспышки массового размножения насекомых-вредителей, другие катастрофические и опасные природные явления [2], которые определяют восстановительные сукцессии через смену пород, в частности, формирование смешанных сосново-осиново-березовых насаждений на суглинках.

Восстановление лесного покрова на вырубках коренной породой – эдификатором и формирование соснового древостоя является позитивным с экологической точки зрения процессом, так как сосна в возрасте до 30 лет обладает достаточно высокой для района исследований энергией роста и темпами продуцирования фитомассы, в лучшей степени по сравнению с лиственными древесными породами способствует почвенной мелиорации лесных земель и наиболее эффективно регулирует водный сток [8–10].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горяева Е.В.* Оптимизация лесопользования и лесовосстановление на вырубках в условиях Нижнего Приангарья: автореф. дисс. … канд. с.-х. наук: 06.03.02; 06.03.03. Красноярск: Сиб. гос. технол. ун-т, 2007. 21 с.
2. *Данилин И.М., Целитан И.А.* Геоэкологическая оценка аграрных территорий Красноярского края по воздействию опасных природных явлений // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 3. С. 100–106.
3. *Динамика* лесов Красноярского края / О.П. Втюрина, В.М. Скудин, В.А. Соколов; отв. ред. И.В. Семечкин. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2013. 103 с.
4. *Кучмистов А.А.* Эколого-экономическая оценка древесных ресурсов Нижнего Приангарья: автореф. дисс. … канд. биол. наук: 06.03.02. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2012. 21 с.
5. *Региональные* проблемы экосистемного лесоводства / под ред. А.А. Онучина. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. 330 с.
6. *Соколов В.А.* Основы организации устойчивого лесопользования // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 14–24.

7. *Соколов В.А., Вараксин Г.С., Фарбер С.К.* Организация хозяйства в лесах Красноярского края. Саарбрюкен, Германия: Lambert Acad. Publ., 2017. 190 с.
8. *Соколов В.А., Фарбер С.К.* Возобновление в лесах Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 219 с.
9. *Усольцев В.А.* Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С. 306–441.
10. *Уткин А.И.* О показателях лесных биогеоценозов // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 1975. Т. 80. № 2. С. 95–107.

УДК 630*574.4

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

ЦУЙ ЦЗЯН[1], К.П. АРЕФЬЕВ[1], А.В. БАТРАНИН[1], С.Л. БОНДАРЕНКО[2], Р.С. ЛАПТЕВ[1], С.Г. СТУЧЕБРОВ[1]

[1] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия (ttszyan@mail.ru)
[2] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия (bond_sl@inbox.ru)

Проанализированы возможности методов позитронной аннигиляционной спектроскопии (ПАС) и компьютерной рентгеновской томографии (КТ) при послойном исследовании характеристик древесины сосны кедровой.

STUDY OF THE STRUCTURE OF TREE RING BY METHODS OF HIGH-TECHNOLOGICAL MEASUREMENTS

CUI JIAN[1], K.P. AREFJEV[1], A.W. BATRANIN[2], S.L. BONDARENKO[3], R.S. LAPTEV[4], S.G. STUCHEBROV[5]

[1] School of Engineering Entrepreneurship, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (kpa@tpu.ru)
[2] Tomsk Polytechnic University, R&D Laboratory for Radiation Screening and Industrial Safety Systems, Tomsk, Russia (batranin@tpu.ru)
[3] Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia (bond_sl@inbox.ru)
[4] Tomsk Polytechnic University, Division for Experimental Physics, Tomsk, Russia (laptevrs@tpu.ru)
[5] Tomsk Polytechnic University, Research School of High-Energy Physics, Tomsk, Russia (stuchebrov@tpu.ru)

Possibilities of positron annihilation spectroscopy (PAS) and computed X-ray tomography (CT) methods for layer-by-layer studies of cedar pine wood characteristics.

Характеристики годичных колец могут быть индикаторами состояния как окружающей среды, так и самого дерева. Существуют и разрабатываются новые методы, позволяющие получать информацию об условиях произрастания деревьев и проводить ретроспективный анализ изменений климата. Рентгеновский томографический метод отличается высокой точностью измерений (сканирование объекта с разрешением 6÷180 μм). Метод ПАС позволяет оценить пористость древесины на клеточном уровне (размеры пор в древесине 0,47÷0,73 нм).

Компьютерная томография, основанная на отображении образца в рентгеновских лучах, позволяет визуализировать годичные изменения характеристик древесины. В отдельных экспериментах полученные при сканировании образцов древесины сеты (множества изображений исследуемого объекта) сопоставимы по разрешению с изображениями годичных колец, полученными при помощи оптического микроскопа.

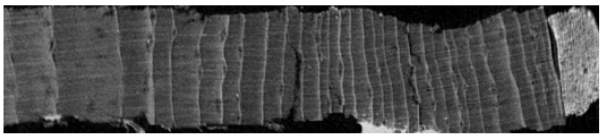
Одной из задач применения ПАС является изучение структуры углеродсодержащих материалов. Послойное измерение спектров аннигиляции позитронов от изотопа ^{44}Ti и определение времени жизни позитрона и позитрониевых состояний (ортопозитрония и позитрония) в веществе позволяют идентифицировать отдельные компоненты материала.

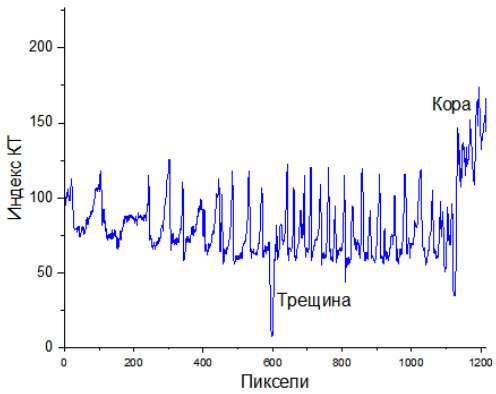
В статье анализировались данные, полученные на измерительных комплексах Томского политехнического университета. Результаты могут использоваться для задач дендроклиматологии и биометеорологии [1, 2].

Результаты КТ-измерений. Было показано, что не все породы деревьев подходят

для сканирования. Например, рентгеновские изображения осины отличает низкая контрастность. В то же время сосна и кедр имеют контрастные границы перехода из одной стадии роста годичного кольца в другую, обеспечивая сканирование с высокой контрастностью. При высоком разрешении (≤6 μм) можно оценить толщину и плотность клеточной стенки образца.

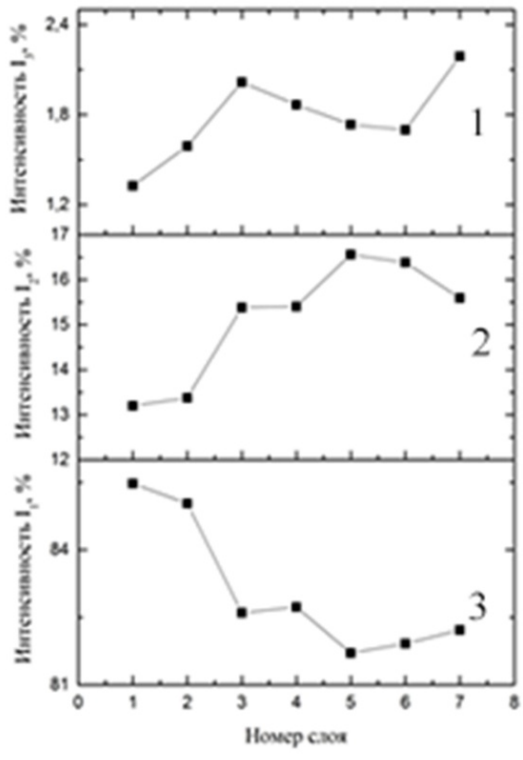
Оцифровка изображений и определение плотности годичных колец в настоящее время не представляет особых трудностей (рис. 1). Для этих целей могут использоваться стандартные программы, например, Origin Pro 9.1 и выше. Калибровка измерений по эталонам позволяет перейти от безразмерных индексов плотности к абсолютным значениям. Высокое разрешение измерений дает возможность оценки ежедневных изменений плотности годичных колец в течение вегетационного периода.





а) б)

Рис. 1. КТ-измерения кедрового керна 2 категории виталитета: а) изображения одного из сечений керна на томографе; б) оцифровка усредненного сечения керна. Данные по плотности годичных колец, с, выражены в относительных единицах



Результаты ПАС-измерений.

Для спила 130-летней кедровой сосны показаны послойные изменения различных фазовых состояний годичных колец (рис. 2). В спектрах временного распределения аннигиляции позитронов были выделены 3 компоненты: одна короткоживущая, $\tau_1 = 375\pm1$ пс и две долгоживущие, $\tau_2 = 1500\pm5$ пс и $\tau_3 = 2800\pm15$ пс.

Рис. 2. Изменение интенсивности временных компонент аннигиляции позитронов в зависимости от датируемого слоя: 1) интенсивность I_3, 2) интенсивность I_2, 3) интенсивность I_1

Короткоживущая компонента τ_1 с относительной интенсивностью I_1 связана с аннигиляцией свободных позитронов в целлюлозе и лигнине – углеродсодержащих веществах, из которых формируется клеточная стенка древесной матрицы. Послойные изменения I_1 могут быть соотнесены с плотностью клеточной стенки.

Первая (τ_2, I_2) долгоживущая компонента образуется при аннигиляции ортопозитрония в порах древесной клетки (~ 0,47 нм), заполненных водой («связанная вода»).

Аннигиляция позитрония в среде углекислого газа CO_2 (и, возможно, других газов, N_2, O_2 и т. д.) во внутри- и межклеточных пустотах древесины, частично заполненных живицей и смолой (~ 0,73 нм), приводит к образованию второй долгоживущей компоненты (τ_3, I_3).

По формуле [2] $\tau_{o-ps} = 0.5 \cdot \left[1 - \frac{R}{R + 0.166} + \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi \cdot R}{R + 0.166} \right) \right]^{-1}$ может быть рассчитана пористость стенки клетки (по τ_2) и пористость древесных волокон (по τ_3).

Заключение. Методы КТ и ПАС относятся к методам неразрушающего контроля и имеют высокую точность измерений. Результаты измерений обоими методами позволяют получить более полное представление о структуре и характеристиках древесины.

Кроме визуального контроля древесины, при помощи метода КТ можно измерить плотность, ширину кольца, ширину поздней и ранней древесины. При сканировании образца древесины с разрешением меньше 6 μм появляется возможность сосчитать количество клеток, определить толщину и диаметр клетки в годичном кольце и таким образом рассмотреть сезонные изменения в росте.

Использование метода ПАС позволяет оценить плотность клеточной стенки древесины, соотношение фазовых компонент и пористость древесных волокон.

Перераспределение интенсивностей временных компонент в зависимости от слоя датируемого периода характеризует структурные изменения в древесине в процессе роста и может быть использовано для датировки изменений природных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *X-ray* imaging and computed tomography of conifer tree rings for climatological purposes / Bondarenko S.L., Batranin A.V., Smirnov S.V., Stuchebrov S.G. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 211 (1): Environmental Observations, Modeling and Information Systems: ENVIROMIS-2018, 012044.
2. *Арефьев К.П., Бондаренко А.Л., Бондаренко С.Л., Лидер А.М., Лаптев Р.С., Бордулев Ю.С., Михайлов А.А.* Позитронная спектроскопия древесной структуры сосны сибирской кедровой // Известия вузов. Физика. 2014. Т. 57. № 11/12. С. 261−266.

УДК. 634.0.18 (232)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДИАМЕТРОВ В ЕЛОВЫХ КУЛЬТУРАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КЫРГЫЗСТАНА

Н.М. ЧЫНГОЖОЕВ, М.А. ЭСЕНБЕКОВ, А.А. ТЫРГОТОВ

НПЦ ИЛ им. П.А. Гана Института биологи НАН КР, Бишкек, Кыргызстан (nurstan@mail.ru, esenbekov1979@mail.ru, aziztyrgotov@mail.ru)

Собранный полевой материал обработан методикой, разработанной Н.А. Бабичем. Основное положение этого метода заключается в определении среднего диаметра насаждения и его связи с диаметром деревьев. Изучена изменчивость диаметра в зависимости от возраста, экспозиции склона, высоты над уровнем моря. На основании выявленной закономерности можно предложить мероприятия по снижению конкурентных отношений в лесных культурах.

VARIABILITY OF DIAMETERS IN SPRUCE CULTURES OF THE NORTH-EASTERN PART OF KYRGYZSTAN

N.M. CHYNGOZHOEV, M.A. ESENBEKOV, A.A. TYRGOTOV

Scientific and production Center for Forest Research IB NAN KR, Kyrgyzstan (nurstan@mail.ru, esenbekov1979@mail.ru, aziztyrgotov@mail.ru)

Collected field data worked by developed method of Babich N.A. The main position of this method is definition of medium diameter of planting and the definition of connection with diameters of the trees. Diameter variability of age is also learned, exposition inclinations, height above sea level. According to revealed regularity we can suggest the measures on reduction competitive relations in forest culture.

Одной из главных лесообразующих пород Кыргызстана является ель Шренка, или ель тянь-шаньская (*Picea schrenkiana* Fish. Et Mey). Это мощное стройное дерево, достигающее 40–45 м в высоту. Основные массивы еловых лесов в Кыргызстане сосредоточены по склонам гор, окружающих оз. Иссык-Куль. Еловые леса распространены только в горной части Средней Азии. Ареал тянь-шаньской ели охватывает в Средней Азии Тарбагатай и почти весь Тянь-Шань, ограничиваясь на западе Чаткальским хребтом, а на юге – Памиро-Алаем.

Общая площадь еловых лесов в Кыргызстане – 116,6 тыс. га, это 13,9 % от всей покрытой лесом площади (по единовременному учету лесного фонда на 01.01.2003) [1, 3]. В пределах горной части Средней Азии можно наметить несколько естественных районов распространения еловых лесов: Иссык-Кульский, Нарынский, Таласко-Чаткальский и Ферганско-Ошский [2]. В Иссык-Кульской области наибольшее количество еловых лесов расположено по северным склонам хр. Кунгей Алатау и по южному склону хр. Терскей Алатау. Главные массивы лесов этого района сосредоточены в восточной его части. На запад они вклиниваются узкой полосой. Климат в районе произрастания еловых лесов характеризуется большим разнообразием. У нижней границы ельников (1600–1800 м над уровнем моря) безморозный период продолжается 160–170 дней, в то время как у верхней отрицательная температура наблюдается во все месяцы [1]. Так, при обследовании ельников Сары-Джаза в конце июля 1957 г. при почвенной раскопке на глубине 52 см была обнаружена мерзлота [4]. Среднегодовая температура воздуха в районах произрастания ели колеблется от 6,2 °С у нижней границы и до 2,1 °С у верхней. Абсолютный минимум изменяется соответственно от 18,1 °С до 36,3 °С. Сумма эффективных температур выше 5 °С у верхней границы – около 40 °С. Из этого следует, что ель тянь-шаньская – порода, способная существовать при очень коротком периоде вегетации [1].

По материалам Наркомзема Киргизской АССР за 1928 г., общая площадь еловых

лесов в Киргизской АССР составляла около 212 080 га [2]. За последние полвека она сократилась почти наполовину. Чрезмерная эксплуатация лесов ведет к их изреживанию, ухудшению формового и возрастного разнообразия, разрушению травяного и почвенного покрова, потере свойств, способствующих защите почвы и склонов и регулирующих водообмен, увеличению высоты над уровнем моря для нижней границы произрастания, появлению фрагментации и сокращению лесопокрытой площади [4].

В результате проведенных экспериментов были разработаны методы выращивания посадочного материала в питомниках и создания культур ели тянь-шаньской (Протопов, 1952; Ган, 1957, 1960, 1970; Орлов, 1959, 1960, 1965, 1973.) [1].

Создание лесных культур хвойных пород по годам производства начиная с 1948 по 2000 г. показано на рис. 1.



Рис. 1. Лесные культуры, созданные в хвойной зоне за период 1948–2000 гг.

Как видно из рисунка, общая площадь лесных культур ели тянь-шаньской в еловой зоне за период 1948–2000 гг., созданных посевом и посадкой, составляет 42 475 га. По состоянию на 2000 год из посаженных лесных культур переведено в покрытую лесом площадь ели тянь-шаньской 8,6 тыс. га. Имеются несомкнувшиеся лесные культуры ели – 14,1 тыс. га. Сохранились лесные культуры под пологом леса на площади ели – 2,8 тыс. га. Всего сохранившихся лесных культур ели тянь-шаньской по состоянию на 01.01.2001 – 25,5 тыс. га. Погибшие лесные культуры из ели тянь-шаньской составляют 16,9 тыс. га [3].

При рекогносцировочном осмотре согласно намеченному плану в первую очередь обращалось внимание на место произрастания, сомкнутость крон (полноту) и густоту лесных культур. По экспериментальным данным рассчитывалась связь изменчивости диаметров деревьев со средним для насаждения диаметром по формуле, предложенной Н.А. Бабичем:

$$C=B-A\lg D,$$

где C – изменчивость, %; B, A – эмпирические коэффициенты; D – диаметр.

Согласно методике нами сделан анализ изменчивости диаметра в еловых культурах, произрастающих на различной высоте над уровнем моря, при разной экспозиции и крутизне склона. Зависимость изменчивости диаметра в культурах от среднего диаметра насаждения выражается уравнением.

На всех экспозициях склона отмечается тенденция увеличения изменчивости диаметра с крутизной склона. Чем больше крутизна склона, тем выше изменчивость. Такая закономерность сохраняется на всех высотных отметках. На различных высотных отметках прослеживается следующая закономерность: с увеличением возраста и соответственно среднего диаметра деревьев изменчивость в целом

уменьшается. Известно, что средний диаметр древостоя будет тем меньше, чем больше начальная густота. На величину среднего диаметра влияет также некоторая вариабельность условий места произрастания.

Напряженность во взаимоотношениях между деревьями из-за ограниченности пространства для роста отражается непосредственно на их диаметре. Однако для суждения об этом лучше подходит относительная величина – условный средний сбег стволов, выражаемый $K = Д_{ср} / H_{ср}$. Напряженность тем выше, чем меньше *К*. При *К* менее 0,95–1,00 древостой относят к перегущенным, с напряженной конкуренцией, что отрицательно сказывается на его росте.

У многих насаждений сохраняется высокая конкуренция. Например, у еловых культур, произрастающих на северо-западном склоне, в возрасте 20 лет прослеживается тенденция – при увеличении высоты местности и крутизны склона – увеличения напряжения в конкурентных отношениях. В тридцатилетнем возрасте на этой же экспозиции склона прослеживается та же закономерность. Но к 50 годам напряженность в конкурентных отношениях уменьшается до высотной отметки 2300 м, а на высоте 2400 м – увеличивается. На северо-восточной экспозиции склона в 30-летних еловых культурах сохраняется тенденция увеличения напряженности в конкурентных отношениях при увеличении крутизны склона.

Проанализировав собранный материал, можно сделать вывод, что с увеличением высоты местности над уровнем моря и крутизны склона увеличивается напряженность в конкурентных взаимоотношениях, однако к 50 годам тенденция начинает незначительно спадать. На основании выявленной закономерности в еловых культурах необходимо проводить рубки ухода до 50-летнего возраста, тем самым снижая напряженность в конкурентных отношениях. Характеризуя 50-летние еловые культуры, можно отметить, что, произрастая на высоте 2300 м над уровнем моря с крутизной 35°, они испытывают напряженную конкуренцию.

Проведенный анализ позволяет отметить, что в еловых культурах с увеличением возраста от 20 до 50 лет еще сохраняется напряженная конкуренция.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ган П.А.* Интродукция и лесоразведение хвойных пород в Киргизии. Фрунзе, 1987. 112 с.
2. *Дзенс-Литовская Н.Н.* Материалы для изучения еловых лесов Киргизской АССР // Труды института по изучению леса АН СССР. Ленинград, 1933. 233 с.
3. *Единовременный* учет Государственного лесного фонда Кыргызской Республики. Иссык-Кульская область. Т. 1. К. 3. Бишкек, 2003. 200 с.
4. *Лысова Н.В.* Еловые леса внутренних хребтов Центрального Тянь-Шаня // Труды Киргизской Лесной опытной станции. Вып. 4. Фрунзе, 1965. С. 300–303.

УДК 630.114:631.423.4

ПОСТПИРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОДСТИЛКАХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

О.А. ШАПЧЕНКОВА, Ю.Н. КРАСНОЩЕКОВ, С.Р. ЛОСКУТОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (shapchenkova@mail.ru)

Исследовано влияние пожаров на органическое вещество подстилок в сосновых лесах Юго-Западного Прибайкалья с помощью методов термического анализа. Установлено, что пожар высокой интенсивности привел к значительной потере органического вещества, уменьшению доли термолабильных и увеличению доли термостабильных компонентов в его составе.

POSTPYROGENIC TRANSFORMATION OF ORGANIC MATTER IN FOREST FLOORS OF PINE FORESTS IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE BAIKAL REGION

O.A. SHAPCHENKOVA, Yu.N. KRASNOSHCHEKOV, S.R. LOSKUTOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (shapchenkova@mail.ru)

The effect of forest fires on organic matter of forest floors in pine forests of the southwestern part of the Baikal region has been studied by methods of thermal analysis. It has been established that forest fire of high intensity resulted in a significant loss of organic matter, a decrease in the content of thermolabile components and an increase in the content of thermostable components in its composition.

На почвы лесов бореальной зоны приходится до 30 % мирового запаса почвенного органического углерода. Лесные пожары являются мощным фактором, нарушающим пул углерода, в частности, влияя на верхний органогенный горизонт почвы – лесную подстилку [1]. Цель работы – выявить изменения в органическом веществе в поверхностных органогенных горизонтах почв, подверженных низовым подстилочно-гумусовым пожарам разной интенсивности. Изучение постпирогенной изменчивости состава и свойств подстилок представляет важную часть познания особенностей биологического круговорота в лесных биогеоценозах, дает возможность судить о направленности протекающих в почве биохимических процессов, определяющих уровень ее лесорастительных свойств.

Исследования проводились в Юго-Западном Прибайкалье в сосняках рододендроновых бруснично-разнотравных. Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев на пробных площадях (ПП) приведена в табл. 1.

Таблица 1. Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев

№ ПП	Интенсивность пожара	Состав древостоя	Возраст, лет	Класс бонитета	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота	Запас древесины, $м^3$/га
1	Контроль	8С2ЛедБ	95	III	25,4	23,1	0,88	345
2	Средняя	8С2Л+Б	95	III	24,7	22,2	0,82	323
3	Высокая	9С1Л	95	III	23,8	21,6	0,73	284

В почвенном покрове распространены серогумусовые глинисто-иллювиированные хрящевато-глинистые почвы. Органогенные и органогенные пирогенные горизонты рассматриваемых почв исследовали методами термического анализа с помощью приборов TG 209 F1 и DSC 204 F1. Термогравиметрию (ТГ) и дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) осуществляли в атмосфере воздуха при скорости нагрева 10 °С·мин$^{-1}$ от 25 до 1000 °С (ТГ) и от 25 до 600 °С (ДСК), скорость потока защитного и продувочного газов – 20 мл·мин$^{-1}$.

ДСК-кривая подстилки контрольной пробной площади (ПП1) характеризовалась наличием одного эндотермического и двух экзотермических пиков при 352,4 и 456,1 °С (рис. 1, табл. 2). Эндотермический эффект обусловлен удалением гигроскопической влаги и легколетучих органических соединений, а экзотермические реакции связаны с термической деструкцией термолабильных (углеводный комплекс) и термостабильных (ароматических) компонентов органического вещества соответственно.

Значительные изменения наблюдались в органогенном пирогенном гор. O_{pir} (ПП3) после прохождения пожара высокой интенсивности. На ДСК-кривой в области протекания экзотермических реакций присутствуют два пика: первый – широкий с максимумом при 398 °С и второй – с максимумом при 515 °С. Термодеструкция лабильных соединений отмечается лишь плечом (при 354 °С), что свидетельствует об их потере в результате пожара. Дополнительный пик при 515 °С, отсутствующий на ДСК-кривой подстилки контрольной пробной площади, обусловлен наличием более термически стабильных компонентов. Величина экзотермического эффекта оказалась заметно меньше по сравнению с контролем, что связано со значительным количеством угля в образце.

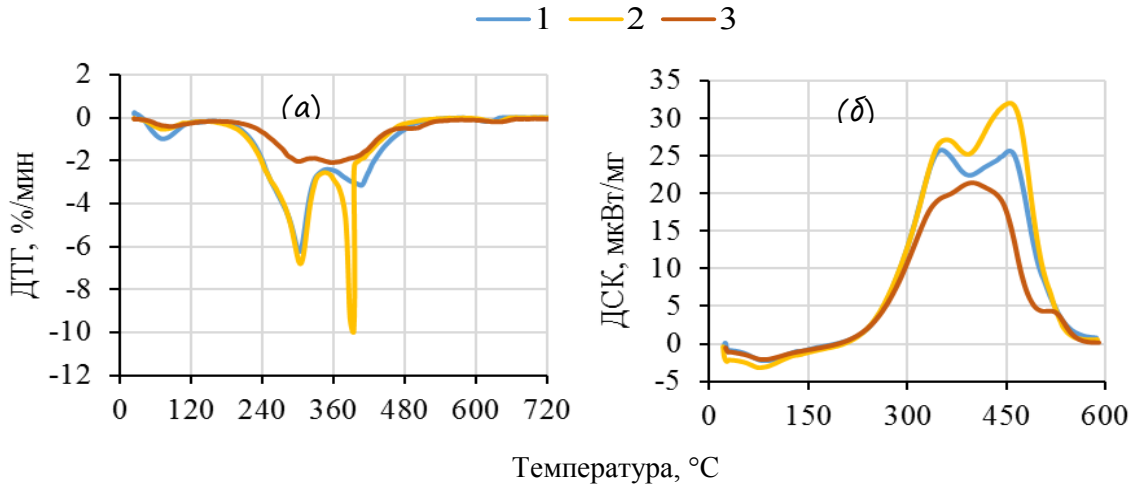


Рис. 1. ДТГ (а) и ДСК (б) – кривые образцов лесной подстилки: 1 – ПП1, гор. О; 2 – ПП2, гор. OL/O_{pir}; 3 – ПП3, гор. O_{pir}

Таблица 2. Результаты дифференциальной сканирующей калориметрии органогенных и органогенных пирогенных горизонтов серогумусовых почв

№ ПП	Температура минимума эндотермы, °С	Эндоэффект, мкВ·мг$^{-1}$*	Температура максимума экзотермы, °С			Экзоэффект мВ·мг$^{-1}$
1	87,4	411,3	352,4	456,1	–	30,9
2	75,9	383,6	359,5	451,4	–	35,4
3	82,5	391,2	398,1		515,0	24,1

Примечание. * – условные единицы.

Эндотермическим и экзотермическим реакциям соответствовала убыль массы образцами, отражаемая на ТГ- и ДТГ-кривых (рис. 1, табл. 3). Установлено, что для гор. O_{pir} (ПП3) общая потеря массы была в 1,9 раза меньше этого значения на контрольной пробной площади. Как следствие, потеря массы, обусловленная удалением гигроскопической влаги и легколетучих органических соединений, а также

термической деструкцией углеводной и ароматической составляющих, была ниже. Однако соотношение термолабильных и термостабильных компонентов в составе органического вещества горизонта O_{pir} значительно изменилось по сравнению с контролем. Так, доля термолабильных компонентов составила 35 %, а термостабильных – 65 % от потери органического вещества в интервале 200–700 °С, тогда как на контрольной пробной площади – 61 и 39 % соответственно.

По результатам термического анализа образца горизонта OL/O_{pir} (ПП2) значительных изменений в составе органического вещества не выявлено. По-видимому, поступление растительного опада за 5 лет «завуалировало» следы пожара: термическая деструкция небольшого количества угля, образовавшегося в результате пожара, «перекрывается» разложением ароматических соединений, поступивших в составе опада, что подтверждается данными термогравиметрии частиц угля, отобранных из горизонта O_{pir} . Установлено, что до 51 % массы образца сгорает в интервале 260–400 °С, еще 21 % – до температуры 580 °С и только 1 % – выше 600 °С. Это свидетельствует о том, что уголь, образующийся в процессе пожара, не является однородным.

Таблица 3. Результаты термогравиметрии органогенных и органогенных пирогенных горизонтов серогумусовых почв

Темп. инт., °С ПМ, %	Темп. инт., °С ПМ, %	Темп. инт., °С ПМ, %	Темп. инт., °С ПМ, %	Темп. инт., °С ПМ, %	ОПМ, %
ПП1					
25–198 6,05	198–349 45,9	349–555 28,8	–	555–641 0,7	81,5
ПП2					
25–201 5,40	201–344 47,2	344–550 32,6	–	550–672 0,9	86,1
ПП3					
25–202 3,70	202–324 14,1	324–479 22,6	479–587 2,4	587–690 1,0	43,8

Примечание. Темп. инт. – температурный интервал; ПМ – потеря массы образцом в данном температурном интервале; ОПМ – общая потеря массы.

Таким образом, пожары высокой интенсивности в сосняках Юго-Западного Прибайкалья ведут к значительной потере органического вещества, снижению доли термолабильных компонентов в его составе и обогащению органогенных пирогенных горизонтов термостабильными (ароматическими) соединениями, которые устойчивы к биологической деградации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Santín, C. Doerr S.H., Merino A., Bryant R., Loader N. J.* Forest floor chemical transformations in boreal forest fire and their correlations with temperature and heating duration // Geoderma. 2016. 264: 71–80.

УДК

УГЛЕРОДНЫЙ БЮДЖЕТ ЛЕСОВ КАК НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА: ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

А.З. ШВИДЕНКО[1, 2], Д.Г. ЩЕПАЩЕНКО[1, 3], Ф. КРАКСНЕР[1]

[1] Международный институт прикладного системного анализа, Лаксенбург, Австрия (shvidenk@iiasa.ac.at, schepd@iiasa.ac.at, kraxner@iiasa.ac.at)
[2] Институт леса им В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия
[3] Московский государственный университет им Н.Э. Баумана, Мытищи, Московская область, Россия

На примере России в докладе рассматриваются современные требования к познанию углеродного бюджета лесных экосистем нетропического широтного пояса северного полушария в условиях глобальных изменений, а также основные структурные, информационно-методические и модельные особенности решения проблемы на основе последовательного применения прикладного системного анализа.

CARBON BUDGET OF FORESTS AS A FUZY SYSTEMS: INFORMATION AND METHODOLOGICAL BACKGROUNDS

A.Z. SHVIDENKO[1, 2], D.G. SCHEPASCHENKO[1, 3], F. KRAXNER[1]

[1] International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria (shvidenk@iiasa.ac.at, schepd@iiasa.ac.at, kraxner@iiasa.ac.at)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
[3] N.E. Bauman Moscow State Technical University, Mytischi, Moscow Region, Russia

Using Russia as a case study, this presentation considers current requirements to understanding carbon budget of forest ecosystems of the extra-tropical belt of the Northern hemisphere under global change, as well as basic structural, information, methodological and model prerequisites following background priniciples of applied systems analysis.

Постановка проблемы. Существенная роль лесов России в регулировании климатической системы планеты [10] и усилиях человечества по смягчению нежелательных изменений климата [24] предопределяет необходимость надежного знания их углеродного бюджета. Однако анализ результатов оценки углеродного бюджета лесов России в реферируемых отечественных и международных научных изданиях, равно как и в официальных данных, сообщаемых международными организациями (Межправительственной группой экспертов по изменениям климата, МГЭИК, Организацией по сельскому хозяйству и продовольствию Организации Объединенных Наций, ФАО ООН) в течение последних двух десятилетий, демонстрирует чрезвычайно большое разнообразие – так, поглощение углерода лесными экосистемами страны оценивается в пределах от 150 до 1000 Тг (=млн т) углерода (С) в год$^{-1}$; сходное разночтение наблюдается при оценках базовых компонентов бюджета, таких как чистая первичная продукция (ЧПП), гетеротрофное дыхание (ГД), потери углерода от нарушений и пр. С учетом политического и (в определенной мере) экономического значения оценки углеродного бюджета становится очевидным, что такая ситуация неприемлема для лиц, принимающих решения, а также искажает истинную роль России в мировых усилиях по смягчению нежелательных климатических изменений.

Системный анализ является основой современной парадигмы познания окружающего мира. Как научный метод он предъявляет два основных требования к итогам исследования: несмещенность получаемого результата при существующем уровне знаний и оценка его неопределенности. Неопределенность трактуется как обобщение недостатков выхода системы (полученного результата) независимо от того,

что является причиной этих недостатков (ограниченность информации, сложность и динамический характер системы, недостаточность знания изучаемых явлений и т. д.).

Углеродный бюджет (как физическая система) и его оценивание (как абстрактное отражение физической системы) являются типичными нечеткими (fuzzy, underspecified) системами [15]. Функция принадлежности таких систем по своей сути стохастическая. Это предопределяет принципиальную невозможность формально строгого определения структурной неопределенности вычислительной системы и, следовательно, результата, если любой из существующих методов изучения углеродного бюджета применяется *индивидуально*, поскольку неопределенность «внутри метода» является только частью «полной неопределенности». Поскольку независимая эмпирическая верификация результатов оценивания углеродного бюджета на региональном или национальном уровнях невозможна из-за трудовых и финансовых ограничений, требуется методология, которая позволила бы определять «полную неопределенность» нашего знания углеродного бюджета с допустимой точностью. Одним из очень немногих системно целесообразных подходов является использование различных независимых методов, оценка неопределенностей каждого метода с последующей гармонизацией промежуточных и финальных результатов и их неопределенностей (*mutual constraints*).

Основные системные требования к оценке углеродного бюджета лесных экосистем могут быть детализированы следующим образом. 1) Бюджет должен быть полным, т. е. учитывать все разнообразие экосистем на лесных землях и рассматривать все явления и процессы в лесных и иных экосистемах лесного ландшафта. Как рабочая предпосылка, оценка должна охватывать не менее 98 % всех известных резервуаров, межсистемных и внутрисистемных потоков углерода. В конечном счете следование этому требованию позволяет получить полный верифицированный углеродный бюджет (ПУБ). 2) Неопределенность конечного результата должна находиться в пределах, приемлемых для лиц, принимающих решения; по приближенным оценкам, ее величина должна быть в пределах 25–30 % (доверительная вероятность 0,9). Искомый показатель (цель исследования) должен быть четко определен при постановке исследования (например, чистый экосистемный углеродный бюджет, чистая биомная продукция, чистый углеродный обмен). 3) Заключительные и важнейшие промежуточные результаты должны быть представлены в явном виде в пространстве и времени. 4) Система ПУБ предполагает однозначную структуризацию задачи, жесткое определение внутри- и межсистемных границ, использование строгих и однозначных терминов, определений и классификационных схем, наличие формальных алгоритмов. Поскольку использование показателей, принятых в разных областях знания, есть неотъемлемая часть ПУБ, необходимы матрицы перехода от одной системы показателей к другим. 5) Использоваться должны только те исходные данные, чья неопределенность известна. В тех случаях, когда (ограниченное) использование экспертных оценок неизбежно, их неопределенность должна быть *a priory* оценена формальными методами.

Краткий обзор методологии. Существует два базовых подхода оценки ПУБ. Первый из них – изменение количества углерода в экосистеме (pool-based approach), которое может быть представлено в виде

$$\Delta C_E = \Delta C_{LB} + \Delta C_{CWD} + \Delta C_{SOIL} \quad , (1)$$

где ΔC_E, ΔC_{LB}, ΔC_{CWD}, и ΔC_{SOIL} обозначают общее изменение количества углерода в основных резервуарах углерода – фитомассе (биомассе живых растений экосистемы), мертвой древесине и почве за некоторую единицу времени (обычно год). Почвенный углерод обычно учитывается по двум компонентам – наземному органическому слою (подстилке) и 1 м верхнего слоя минеральных почв. Второй метод – метод оценки

потоков между экосистемой и атмосферой, гидросферой и литосферой, например, при оценке чистого углеродного экосистемного бюджета

$$NECB = NPP – SHR – DEC - ANT – FHYD – FLIT \quad , (2)$$

где NECB и NPP – чистый экосистемный бюджет и чистая первичная продукция соответственно, SHR – гетеротрофное дыхание почвы, DEC – поток вследствие разложения крупных древесных остатков, ANT – поток вследствие нарушений и управленческих воздействий, включая заготовку и потребление древесных продуктов, FHYD и FLIT – потоки С в гидро- и литосферу. Все переменные в уравнениях (1) и (2) даются в единицах массы углерода на единицу площади и за единицу времени.

Очевидно, что допустимые расхождения в результатах, получаемых по уравнениям (1) и (2), должны находиться в пределах оцененных неопределенностей. Среди различных методов оценки углеродного бюджета основными являются ландшафтно-экосистемный подход (ЛЭП), модели различной природы, метод вихревых пульсаций, обратное моделирование и многосенсорная концепция применения дистанционных методов. Каждый из них имеет различную познавательную мощность, свои преимущества и недостатки.

Ландшафтно-экосистемный подход (landscape-ecosystem approach, LEA) служит эмпирической и структурной основой ПУБ (Швиденко, Щепащенко 2014). Он аккумулирует всю целесообразную распределенную во времени и пространстве информацию о физико-географических условиях территории, земельном и лесном покрове, ландшафтах, экосистемах и процессах в них, климате, нарушениях и т. д., базируясь на имеющихся источниках (измерения *in situ*; многосенсорные продукты ДЗЗ; различные инвентаризации и обследования – учет лесного фонда, лесопатологические обследования; карты; эмпирические обобщения и модели; прочие), и служит для структуризации проблемы – определения модулей вычислительных схем, внутри- и межсистемных связей и границ.

Информационная основа ЛЭП выступает в форме Интегральной Земельной Информационной Системы (ИЗИС), представляющей собой многоуровневую и разномасштабную ГИС полигонов гибридного земельного покрова (ГЗП) [12]. Целесообразное пространственное разрешение ИЗИС зависит от необходимости системной совместимости картографических и атрибутивных данных. Анализ особенностей и неоднородности земельного и лесного покровов страны, темпов их изменения, интенсивности антропогенного влияния приводит к выводу, что величина пикселя 150–200 м представляет порог, ниже которого подробность представления лесного покрова при оценках на уровне страны нецелесообразна. Средства ДЗЗ являются основным средством пространственной спецификации земельного и лесного покровов. ГЗП для России получен на основе использования 12 различных продуктов ДЗЗ, географической взвешенной регрессии и валидации при помощи метода Geo-Wiki, что обеспечило приемлемую точность маски лесного покрова (>95 %).

Пространственное разрешение порядка 150–200 м позволяет минимизировать неопределенности до уровня, предположительно приемлемого для лиц, принимающих решения, однако это требует знания на пиксельном уровне многих биофизических показателей лесных экосистем, таких как состав древостоя (как минимум преобладающих лесных пород), возраст, средняя высота, класс бонитета, полнота, запас биомассы по компонентам, почвенные характеристики и т. д. Однако официальные данные учета лесов России, представленные в ГЛР, устарели, имеют значительные систематические ошибки неизвестной величины и не соответствуют фактическому состоянию лесов на огромных территориях [27] – и, очевидно, перечисленным выше

системным требованиям. Для решения этой проблемы был разработан прототип системы обновления данных ГЛР по лесным предприятиям страны с базированием на регионально распространенных моделях роста и динамики модальных древостоев. Пространственное размещение древостоев представляется по полигонам (таксационным выделам) на основе специального оптимизационного алгоритма, учитывающего био-экологические свойства пород, особенности местообитаний, орографические условия, почвенные характеристики и т. д. Для каждого таксационного выдела указывается наиболее вероятная таксационная характеристика насаждений, а итоговая характеристика лесов по лесничествам соответствует наиболее точным на определенную дату доступным источникам информации о лесах (отметим, что в рамках границ действия лесничеств учитываются все леса независимо от их ведомственной принадлежности). Было показано, что официальные данные о площадях покрытых лесом земель в стране существенно завышены, особенно для северных территорий азиатской части, а средний запас лесов России занижен на 19 % (т. е. на величину, превышающую 10 миллиардов $м^3$).

В рамках метода изменения запаса фитомасса определяется по регионально распределенным многомерным моделям конверсионных коэффициентов, включающих регион, преобладающую породу, обобщенный тип леса, возраст, класс бонитета и относительную полноту. Эти регрессии основываются на данных ~11 000 пробных площадей и позволяют оценить фитомассу по 6 компонентам – стволовая древесина, ветви, листва, хвоя, подрост + подлесок и напочвенный живой покров [13]. Мертвая древесина (КДО) включает сухостой, валеж, пни, сухие ветви живых деревьев (надземные КДО) и мертвые корни (подземная биомасса). Почвенный углерод оценивается для напочвенного органического слоя (подстилки) и 1 м верхнего минерального слоя.

Основные потоки углерода включают компоненты у-я (2). По определению, NECB включает все содержащие углерод вещества – CO_2, CH_4, CO, VOC, твердые частицы. NPP рекомендуется вычислять на основе несмещенного «полуэмпирического» метода [16], а HR почв – по системе, представленной в [14]. Процесс разложения мертвой древесины описывается кинетической моделью 1 порядка. В вычисления показателей ПУБ, зависящих от условий внешней среды, на основе опубликованных данных вносятся поправки на динамику климата, удобряющего эффекта увеличения концентрации CO_2 и осаждений азота. Потоки вследствие нарушений включают пожары, вспышки массового размножения насекомых и патогенов. Влияние лесозаготовок и перемещения лесных продуктов оцениваются на основе работы [2]. Оценки потоков в гидро- и литосферу базируются на основе измерений концентраций растворимого С в реках и иных водных резервуарах с учетом outgassing. Эмиссии метана и VOC оцениваются на основе результатов измерений и эмпирических обобщений для различных классов земельного и лесного покровов.

Погрешности результатов ЛЭП рассчитываются путем последовательного применения теории распределения ошибок. Метод базируется на нормальной теории, что не всегда наблюдается в реальных ситуациях. При необходимости трансформации погрешностей в неопределенности используется анализ чувствительности (например, метод Монте-Карло). Нередко в расчетах приходится иметь дело с «суммарными ошибками», т. е. смесью случайных и систематических ошибок. В конечном счете оценивается неопределенность неизвестных «истинного значения» (fixed true value) или «истинного распределения» (true distribution)

Иные методы учета углеродного бюджета базируются на различной информации и представляют различные возможности для оценки неопределенностей. Мы ограничимся здесь только краткой характеристикой особенностей применения их в

системной оценке ПУБ. Процессные модели (главным образом Лесные ландшафтные модели, FLM, и Динамические глобальные модели растительности, DGVMs) являются практически единственным методом для объяснения экосистемных процессов и прогноза. Вместе с тем в национальных применениях они имеют существенные недостатки. FLM дают достаточно надежные результаты [6, 7], но применяются они на масштабе площадей в десятки и сотни тысяч гектаров и требуют большого объема информации, что делает затруднительным их использование в национальных оценках. С другой стороны, DGVMs являются относительно грубым средством для ПУБ национального масштаба, поскольку 1) используют ограниченное количество типов растительности (FTP); 2) значительная часть моделей этого типа оперирует с потенциальной растительностью и не учитывает природных и антропогенных нарушений и 3) как глобальная модель DGVM может не отражать существенных региональных особенностей и приводить к значительным систематическим ошибкам. Разработка новых модельных подходов (в частности, на основе ассимиляции больших объемов данных) позволяет существенно улучшить точность результатов, по крайней мере, на биомном уровне. Метод вихревых пульсаций (eddy covariance) представляет непосредственную оценку чистого экосистемного обмена, но в силу очень ограниченного количества измерений на территории России (менее 20 серий для лесных экосистем) может быть использован только для калибровки моделей и сравнений. Обратное моделирование представляет собой метод top-down контроля чистой биомной продукции (NBP), но неопределенности оценок остаются значительными. Вместе с тем возможности новейших достижений средств ДЗЗ продемонстрировали возможности значительного прогресса в оценке ПУБ. Так, результаты проверки оценок эмиссий (поглощений) для лесов России, полученных приборами японского спутника GOSAT (2009–2012), показали достаточно хорошее соответствие с результатами ЛЭП за указанный период.

Неопределенности оценок важных компонентов ПУБ названными методами специфичны. Глобальные модели обычно применяются в виде больших ансамблей, и в качестве оценки неопределенности используется среднее квадратическое отклонение результатов, полученных различными моделями. Результаты оценок средствами ДЗЗ существенно зависят от качества региональной параметризации моделей. В конечном счете обобщенная погрешность результата оценивается на основе байесовского подхода исходя из того, что результаты, полученные различными методами, не имеют систематических ошибок и нормально распределены.

Заключительные заметки и исследовательские проблемы. Применение ЛЭП в рамках описанной выше методики к оценке углеродного бюджета лесных экосистем (использовалось национальное определение леса) за последнюю декаду дало достаточно согласованные результаты – NECB для покрытых лесом земель оценивался между ~550 и 750 Tg C yr^{-1} с неопределенностями порядка 25–30 % (доверительная вероятность 0,9). Эта величина составляла порядка 95 % всех поглощений углерода наземными экосистемами. Несмотря на значительное поглощение углерода лесами в целом по стране, большие территории, преимущественно на многолетней мерзлоте и в поврежденных лесах высоких широт, служили источником углерода. Межгодовая изменчивость величины поглощения может быть значительной для отдельных больших регионов из-за изменчивости климатических показателей, наличия экстремумов таких явлений, как тепловые волны, и сопутствующих вспышек массового размножения вредных насекомых и патогенов. Метод изменения запасов углерода в почвах имеет значительные ограничения, поскольку современный уровень знания динамики углерода в почве недостаточен для относительно надежных заключений. Нарушения (лесозаготовки, пожары, насекомые и болезни) составляют порядка 20 % современного

поглощения С и являются основным объектом управления углеродным бюджетом как одной из основных экосистемных услуг лесов.

Опубликованные результаты оценки углеродного бюджета лесов России различными методами можно разделить на две группы. Официальные данные, реализованные в национальном кадастре, оценивают сток в леса России за 1992–2010 гг. в пределах 61,7–199,5 млн т (среднее за период 146,6 млн т год-1); для 2015 года оценка 173,5 млн т (https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/application/pdf/20394615_russian_federation-nc7-1-7nc.pdf, Седьмое национальное сообщение РФ, представленное Министерством природных ресурсов и экологии, 2017 год); данные эти, как и публикации их разработчиков [18, 19 и др.], относятся к т. н. «управляемым лесам», составляющим 73 % от всех лесов России. Существенным недостатком этих результатов является использование данных ГЛР, которые в значительной своей части устарели и не соответствуют действительности (больше половины российских лесов были учтены последний раз свыше 25 лет назад), а удовлетворительной системы обновления данных ГЛР не существует. Недавние оценки площади лесов России средствами ДЗЗ свидетельствуют о значительных потерях лесного покрова в азиатской части России [8, 27]. По предварительным оценкам, полученным на основе данных Государственной инвентаризации лесов, запас древесины в лесах России существенно занижен [23]. Как было отмечено в материалах экспертизы действующей методики оценки эмиссий и поглощений парниковых газов, проведенной РАН, официальная методика содержит ряд серьезных ошибок и неоптимальных решений. Научные результаты ряда групп исследователей, полученные различными методами, находятся в пределах 500–800 Тг С год$^{-1}$ [10, 21, 25, 1, 3, 17, 11, 5]. Значительная часть этих работ основана на системном подходе и содержит показатели неопределенности результатов. Результаты настоящего исследования приводят к выводу о необходимости системного подхода к оценке углеродного бюджета лесных экосистем. Это потребует решения ряда серьезных методических и информационных проблем. Стратегическая проблема заключается в необходимости коренного совершенствования системы лесоучетных работ в России. Как тактическое решение, учитывая необходимость перехода к согласованной оценке углеродного бюджета лесов страны, должна быть разработана система обновления данных ГЛР на уровне лесничеств с возможно более полным привлечением последних достижений средств ДЗЗ. Следует также признать, что использование единственного метода, рекомендуемого МГЭИК, не может представить достаточно полную информацию о влиянии лесов на основные биогеохимические циклы. Эту задачу может решить только системное применение различных методов, в общих чертах обозначенных выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ciais P., Canadell J.G., Luyssart S. et al.* Can we reconcile atmospheric estimates of the Northern terrestrial carbon sink with land-based accounting? // Cur. Opt. Environ. Sustain. 2010. 2 (4). P. 225–230.
2. *Ciais P., Canadell J.G., Luyssart S. et al.* The impact of lateral carbon fluxes on the European carbon balance. Biogeosciences. 2008. 5. P. 1259–1271.
3. *Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D. et al.* An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory based, eddy covariance and inversion methods. Biogeosciences. 2012. 9. C. 5323–5340. DOI: 10.5194/bgd-9-.
4. *Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T. et al.* Boreal forest health and global change // Science. 2017. 349. Issue 6250. C. 819–822.
5. *Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T. et al.* Boreal forest health and global change. 2015. Science. 2015. 349, issue 6250. P. 819–822.

6. *Gustafson E.J., Shvidenko A.Z., Scheller R.M.* Effectiveness of forest management strategies to mitigate effects of global change in south-central Siberia // Canadian Journal of Forest Research. 2011b. 41. 1405–1421.
7. *Gustafson E.J., Shvidenko A.Z., Sturtevant B.R. et al.* Using landscape disturbance and succession models to support forest management // Landscape Ecology in Forest Management and Conservation, 2011a, editted by C. Li, R. Lafortezza, J. Chen, HEP. Springer, Beijing and Berlin. Pp. 99–118.
8. *Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al.* High-resolution global map of 21-st century forest cover change. Science. 2013. 342. P. 850–853.
9. *Mukhortova L., Schepaschenko D., Shvidenko A. et al.* Soil contribution to carbon budget of Russian forests // Agricultural and Forest Meteorology. 2015. 200. C. 97–108.
10. *Pan Y., Birdsey R.A., FangJ. et al.* A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests // Science. 2011. P. 988–993.
11. *Schaphoff S., Reyer C.P.O., Schepaschenko D. et al.* Tamm Review: Observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance // Forest Ecology and Management. 2015. 361. 432–444.
12. *Schepaschenko D., McCallum I., Shvidenko A. at al.* A new hybrid land cover dataset for Russia: a methodology for integrating statistics, remote sensing and in situ information // Journal of Land Use Science. iFirst. 2010. DOI: 10.1080/1747423X.2010.511681, 1–15/.
13. *Schepaschenko D., Molchanova E., Shvidenko A. et al.* Improved estimates of biomass expansion factors for Russian forests. Forests. 2018.9, 312. DOI: 10.3390/f9060312.
14. *Shvidenko A., Schepaschenko D., Kraxner F. et al.* Full verified carbon account of forest ecosytems as a fuzzy system: an attempt to assess uncertainty // Proceedings of 4th International Workshop on Uncertainty in Atmospheric Emissions, 7–9 October 2015, Krakow, Poland. Pp.1–8.
15. *Shvidenko A., Schepaschenko D., McCallum I. et al.* Can the uncertainty of full carbon accounting of forest ecosystems be made acceptable to policy makers // Climatic Change. 2010. 103 (1–2). C. 137–157.
16. *Shvidenko A., Schepschenko D., Nilsson S. et al.* Semi-empirical models for assessing biological productivity of Northern Eurasian forests // Ecological Modelling. 2007. 204. 163–179.
17. *Thurner M., Beer Ch., Santoro M. et al.* Carbon stock and density of northern boreal and temperate forests // Global Ecology and Biogeography. 2014. 23. C. 297–310.
18. *Замолодчиков Д.Г. и др.* Инвентаризация бюджета углерода в лесном хозяйстве России. Сб. науч. тр. СПбНИИЛХ. № 3. 2013. С. 23–32.
19. *Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н.* Динамика бюджета углерода за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. 6. С. 16–28.
20. *Моисеев Б.Н.* Оценка годичного депонирования углерода по запасу древесины в лесах России. Лесное хозяйство. 2011. 1. С. 16–18.
21. *Моисеев Б.Н., Филипчук А.Н.* Методика МГЭИК для расчета годичного депонирования углерода и оценка ее применимости для лесов России. Лесное хозяйство. 2009. 4. С. 11–13.
22. *Филипчук А.Н. и др.* Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы //Лесохоз. инф. 2016. 3. С. 36–85.
23. *Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Югов А.Н.* Сравнительная оценка статистических данных о запасах древостоев в лесах Российской Федерации. Лесохозяйственная информация. 2017. 2. С. 16–15. Доступно на http://lhi/vniilm/ru/
24. *Швиденко А.З. и др.* Переход к устойчивому управлению лесами России: научно-методические предпосылки // Сибирский лесной журнал. 2017. № 6. С. 1–27.
25. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г.* Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.
26. *Щепащенко Д.Г. и др.* Запасы органического вещества в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. 123–132.
27. *Щепащенко Д.Г. и др.* Площадь лесов России и ее динамика на основе синтеза продуктов дистанционного зондирования // Лесоведение. 2015. № 3. С. 163–171.
28. *Щепащенко Д.Г., Швиденко А.З., Лесив М.Ю. и др.* Площадь лесов России и ее динамика на основе синтеза продуктов дистанционного зондирования. Лесоведение. 2015. 3. С. 163–171.

УДК 631.483 + 581.55

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЯЕМЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ПО ПЕДОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

О.В. ШЕРГИНА, Т.А. МИХАЙЛОВА, О.В. КАЛУГИНА

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия (sherolga80@mail.ru)

Исследовались педохимические показатели: кислотно-щелочной режим, состояние органического вещества, состав почвенного поглощающего комплекса (ППК) лесных почв в окрестностях крупных промышленных предприятий Иркутской области. По полученным результатам разработана оценочная шкала, позволяющая ранжировать почвы по их экологическому состоянию. Выделены критический, допустимый и оптимальный уровни состояния серых лесных почв.

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF TECHNOGENICAL POLLUTED FOREST SOILS BY PEDOCHEMICAL INDICATORS

O.V. SHERGINA, T.A. MIKHAILOVA, O.V. KALUGINA

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia (olignat32@inbox.ru)

Pedochemical indicators: acid-base balance, organic matter condition, and soil absorbing complex (SAC) of natural gray forest soils in the vicinity of large industrial centers of the Irkutsk region have been investigated. According to the obtained results, the scale of assessment of the ecological state technogenical polluted soils was elaborated.

Исследование лесных почв проводилось в 2014–2018 гг. на территориях, загрязняемых аэровыбросами Иркутского, Шелеховского, Ангарского, Усольского, Черемховского, Саянского промцентров. Поскольку промышленные зоны размещены на небольшом расстоянии друг от друга, сформировался единый территориально-промышленный комплекс с высоким уровнем техногенного загрязнения как в самих промцентрах, так и на прилегающих территориях [1]. В сосновых (*Pinus sylvestris* L.) лесах было заложено 18 пробных площадей (ПП) на естественных почвах. Закладка ПП проводилась согласно международной методике ICP Forests [3] с учетом месторасположения основных источников загрязнения, лесорастительных и эдафических условий. Все ПП закладывались в сосняках преимущественно III класса бонитета на серых лесных почвах, распространенных в границах одного почвенного округа [2]. Для отбора образцов почвы на ПП закладывали разрезы. Почвенный профиль представлен совокупностью генетических горизонтов: АО – А1 – А2 – А2В – В1 – В2 – ВС – С, в нем выделяются зоны органической (лесная подстилка), гумусовой аккумуляции и элювиально-иллювиальной миграции веществ. Фоновые ПП закладывались на значительном расстоянии (80 км и более) от промцентров и не подпадали под основной перенос аэропромвыбросов.

Обнаружен значительный уровень загрязнения лесных почв аэровыбросами промышленных центров. Выявлено, что в лесных почвах, находящихся в зоне воздействия техногенных выбросов, наблюдается смещение кислотно-основного баланса в щелочной диапазон; снижение минерализации органического вещества с образованием менее устойчивых гумусовых соединений; нарушение соотношения обменных катионов в ППК; формирование техногенного соленакопления в профиле почв. При высоком уровне техногенного загрязнения (лесные почвы, расположенные на расстоянии 5–10 км от промцентров) мощность лесной подстилки не превышает 1–3 см, гумусового слоя – 15 см, фоновые значения составляют, соответственно, 5–10 см и 25–35 см. Обеспеченность почв гумусом снижена более чем в 3,5 раза, азотом – более

чем в 5,5 раза, в то же время зарегистрировано превышение соотношения C/N в 2,5 раза в сравнении с фоновыми значениями, что свидетельствует о функциональных нарушениях почв. При этом наблюдаемые процессы – усиление эмиссии CO_2 и снижение общего содержания азота в гумусе – указывают на слабую деструкцию растительных остатков, снижение образования гумусовых веществ и, как следствие, замедление процесса минерализации питательных веществ в почвенных горизонтах. Показано, что в большинстве случаев pH переходит в щелочной диапазон. Так, вблизи Усольского промцентра pH_{H2O} достигает 8,1–8,5. Изменение кислотности почв приводит к значительному изменению элементов питания в составе ППК: уровень обменных форм кальция в верхних горизонтах почв увеличивается по сравнению с фоновым в 2–6 раз, магния и калия – до 2 раз, натрия – до 10 раз. Высокий уровень обменных катионов в верхних горизонтах загрязненных почв свидетельствует не только о нарушении естественной поглотительной способности почв, но и о наличии такого неблагоприятного явления, как техногенная солонцеватость почв. Выявлено, что на загрязненных территориях распространен сульфатный тип соленакопления [4]. Об этом свидетельствуют обнаруженные зависимости между содержанием подвижной серы и обменными катионами кальция, магния, калия, натрия. Результаты натурных исследований показывают, что процессы повышенного соленакопления в лесных почвах, подверженных техногенному загрязнению, приводят к изменению их морфологического облика. На территориях вблизи промцентров в верхних горизонтах почвенного профиля наблюдается образование плотного белесо-серого слоя, а в нижележащих горизонтах отмечаются солевые потеки и линзы. Поскольку активное взаимодействие ионов серы и кальция в большей степени наблюдается в щелочных условиях, то исходя из полученных данных можно предположить, что при сохранении и усилении на обследованных территориях щелочности почвенной среды будет наблюдаться прогрессирующее развитие процесса техногенного соленакопления.

Выявлено также, что в лесах, прилегающих к промышленным центрам, в органической подстилке и верхних гумусовых горизонтах почв регистрируются высокие концентрации тяжелых металлов, превышающие фоновые уровни от 8 до 25 раз. Ряд накопления тяжелых металлов, согласно коэффициентам концентраций, представлен следующей последовательностью: Sr > Mo > Cu > Pb > Cr > Cd > Zn > Ni > Li > Fe > Co > Mn. На менее загрязненных территориях (удаление на 30 км и более от промышленных центров) ряд накопления тяжелых металлов по коэффициентам их концентраций значительно отличается и имеет следующий вид: Fe > Mn > Cu > Zn > Sr > Cr > Pb > Cd > Mo > Ni > Li > Co.

По полученным данным разработана оценочная шкала для верхних гумусово-аккумулятивных горизонтов, позволяющая ранжировать почвы по уровню их экологического состояния (табл. 1).

Критический уровень экологического состояния лесных почв регистрируется на территориях, находящихся на расстоянии от 3 до 10 км техногенного воздействия промцентров. Почвы в зоне критического загрязнения характеризуются выраженной деградацией лесной подстилки, низким содержанием гумуса в верхних горизонтах (1,5 % и менее), значительными потерями (выше 5,6 г/см^2/сут.) углекислого газа с поверхности почвы, высокими значениями щелочности (pH_{H2O} более 7,6), интенсивным развитием процесса техногенного солонцевания по глубине всего почвенного профиля.

Допустимый уровень экологического состояния лесных почв обнаруживается на территориях, расположенных от 11 до 40 км воздействия техногенного загрязнения промцентров. В почвах, подпадающих под перенос загрязненных воздушных масс, обнаруживается замедление процесса минерализации органического вещества, при котором количество гумуса в профиле почв снижается более чем в 2,5 раза в сравнении

с фоновыми значениями, а интенсивность эмиссии CO_2 увеличивается в 2–4 раза. Регистрируется также повышение щелочности почвенного раствора до значений pH_{H2O} 7,5; увеличение обменных форм кальция максимально в 4 раза и натрия – в 5–7 раз в составе ППК; повышение содержания легкорастворимых солей серы и их интенсивное взаимодействие с ионами Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}.

Таблица 1. Шкала оценки экологического состояния техногенно загрязняемых почв

Показатель	Уровень экологического состояния почв		
	Оптимальный	Допустимый	Критический
Кислотно-основные свойства			
pH_{H2O}, ед.	4,5–6,5	6,6–7,5	7,6–9,5
Hг, мг-экв/100 г	30,0–15,0	14,9–7,0	6,9–2,0
Гумификационные свойства			
Гумус, %	9,0–4,5	4,4–1,5	1,4–1,0
N общ., %	0,6–0,3	0,3–0,2	0,2–0,1
C/N, ед.	7,0–8,5	8,6–12,0	12,1–15,0
CO_2, г/см^2/сут.	1,2–2,5	2,6–5,5	5,6–8,5
Катионообменные свойства			
K, мг/кг×10^2	4,0–6,0	6,1–25,0	25,1–40,0
Na, мг/кг×10^2	0,1–0,4	0,4–3,0	3,1–7,0
Ca, мг/кг×10^2	25,5–35,0	35,1–100,0	100,1–200,0
Mg, мг/кг×10^2	6,0–9,0	9,1–25,0	25,1–50,0
∑ K, Na, Ca, Mg, мг/кг×10^2	35,0–50,0	50,1–150,0	150,1–300,0

Оптимальный уровень состояния присущ лесным почвам фоновых территорий. Для них характерны мощный гумусовый слой, среднекислые условия среды, стабильное содержание обменных катионов в составе ППК. Показатели соотношения C/N по профилю почв и низкое содержание илистой фракции свидетельствуют об интенсивном проявлении дернового процесса и образовании устойчивых гумусовых соединений.

Таким образом, полученные результаты позволяют диагностировать современное состояние лесных почв и прогнозировать их временные изменения. Подобные исследования позволяют решать вопросы, касающиеся современного генезиса лесных почв и их функционирования в условиях техногенного воздействия, а также служат основой для разработки природоохранных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Государственный* доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году». Иркутск: Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области, 2018. 249 с.
2. *Шергина О.В., Михайлова Т.А., Калугина О.В.* Изменение биогеохимических показателей в сосновых лесах при техногенном загрязнении // Сибирский лесной журнал. 2018. № 4. С. 29–38.
3. *Manual* on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Hamburg: UNECE, ICP Forests Programme Coordinating Centre, 2010. 492 p.
4. *Shergina O.V., Mikhailova T.A., Kalugina O.V.* Assessment of the Ecological State of Soils in the Baikal Region under Industrial Air Pollution // Russian Journal of General Chemistry. 2018. N 13 (88). P. 2854–2861.

УДК 676.164

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЕМЯН И ШИШЕК СОСНЫ СИБИРСКОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОВОЛНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Г. ШИРЕТОРОВА[1], А.Г. ХАНТУРГАЕВ[2]

[1] Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия (vshiretorova@rambler.ru)
[2] Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия (aavn@mail.ru)

Разработана технология комплексной переработки кедровых орехов с получением продуктов пищевого, лечебно-профилактического и технического назначения. Замена токсичных растворителей пищевым спиртом этиловым и использование микроволнового нагрева для интенсификации экстракции позволяют увеличить выход целевых компонентов, снизить энергозатраты и максимально сохранить биологическую ценность компонентов сырья.

COMPLEX PROCESSING OF SIBERIAN PINE SEEDS AND CONES USING MICROWAVE TECHNOLOGIES

V.G. SHIRETOROVA[1], A.G. KHANTURGAEV[2]

[1] Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russia (vshiretorova@rambler.ru)
[2] East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia (aavn@mail.ru)

A technology for the complex processing of pine nuts for production of food, therapeutic and prophylactic and technical products has been developed. Replacing toxic solvents with ethyl alcohol and using microwave heating to intensify extraction allows to increase the yield of target components, reduce energy costs and preserve the biological values of raw materials.

Кедровые сосны – один из уникальных и экологически чистых ресурсов для получения широкого спектра конкурентоспособных высокопитательных продуктов пищевого, функционального и лечебно-профилактического назначения. Широкий спектр фармакологического действия биомассы обусловлен содержанием богатого комплекса биологически активных веществ – липофильных и гидрофильных. К первой группе относятся жирные кислоты, фосфолипиды, жирорастворимые витамины, терпеновые соединения, ко второй – полифенольные соединения, аминокислоты, водорастворимые витамины, макро- и микроэлементы. Семена кедровых сосен (кедровые орехи) обладают чрезвычайно емким энергетическим запасом за счет концентрации веществ и значительной собственной массы. Большую часть ядра (около 60 %) составляет жир. Ядро содержит значительное количество белков – 17 %, крахмала – 12,5 % и минеральных веществ – 2,3 % [5]. В состав скорлупы и шелухи шишек помимо клетчатки входят красящие вещества, лигнин, дубильные вещества, терпеноиды, белки и жиры.

В Республике Бурятия произрастают два вида кедровых сосен – сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) и кедровый стланик (*Pinus pumila*). Для последнего здесь проходит западная граница ареала произрастания. Площадь промысловых кедровых лесов оценивается в 1884,3 тыс. га, эксплуатационный ресурс – в 22 600 т/год. Резко континентальный климат региона способствует накоплению более высокого количества биологически активных веществ (особенно липидов с высокой долей полиненасыщенных жирных кислот) растениями как ответной реакции на стрессовые условия произрастания.

Технологические исследования переработки кедрового ореха направлены в основном на получение очищенных от скорлупы ядер и выделение кедрового масла холодным прессованием, экстракцией гексаном или пищевыми бензинами. Основной продукцией переработки кедровых орехов является ядро кедровое и масло кедровое,

технологии по комплексной переработке кедровых орехов практически отсутствуют. Отходами переработки являются шелуха кедровых шишек (шонор), составляющая более 50 % от массы неошелушенной шишки, и скорлупа (51–59 % от массы орехов). Кедровый белок в основном направляется на корм скоту и птицам. В связи с этим разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии выделения БАВ из кедровых орехов и шишек с сохранением биологической ценности сырья и получением экологически безопасных новых продуктов функционального питания, БАД, сорбентов и других материалов особенно важна и актуальна для Сибирского региона, располагающего значительными запасами кедровых лесов.

В данной работе нами была изучена возможность интенсификации процесса экстракции липофильных (получение кедрового масла) и гидрофильных (получение дубильных экстрактов) веществ из ядра и скорлупы кедровых орехов с помощью микроволнового нагрева (СВЧ-энергоподвода), при этом в качестве растворителя использовался этиловый спирт или водно-спиртовые растворы.

Использование осциллирующего СВЧ-энергоподвода в процессах экстракции интенсифицирует процесс за счет наложения на концентрационную диффузию эффектов термодиффузии и бародиффузии. При этом происходят быстрый объемный разогрев реакционной смеси, разрушение сферосом в растительных клетках, высвобождение экстрактивных веществ вследствие возникающего градиента температуры и избыточного давления и растворение их в спирте, что недостижимо в условиях термического нагрева. Таким образом, микроволновая экстракция позволяет увеличить выход извлекаемых компонентов по сравнению с классическими методами экстракции и отличается простотой, быстротой и экономичностью. На основании проведенных авторами исследований были установлены кинетические закономерности процесса выделения липидов из ядер кедровых орехов этиловым спиртом, полифенольных соединений из кедровой скорлупы водно-спиртовыми и водно-содовыми растворами под воздействием микроволн; методом математического планирования экспериментов установлены оптимальные технологические параметры и разработаны способы выделения липофильных и гидрофильных БАВ из компонентов кедровых орехов микроволновой экстракцией, позволяющие значительно интенсифицировать процесс экстракции, снизить удельный расход электроэнергии, увеличить выход экстрактивных веществ [2, 3].

Результаты исследований физико-химических показателей полученного кедрового масла, жирнокислотного, витаминного состава, стойкости к окислению в процессе хранения, а также состава и свойств белкового остатка (шрота) после экстракции в сравнении с традиционной экстракцией (гексаном в течение 4–6 часов) показали, что применение СВЧ-экстракции этиловым спиртом позволяет повысить качество и биологическую ценность получаемых продуктов. Полученное кедровое масло не требует рафинации, т. к. сопутствующие вещества при экстракции переходят в спирт, имеет приятный ореховый вкус, обладает высокой стойкостью к окислению при хранении (за счет низкого количества нежировых примесей, инактивации липолитических ферментов при СВЧ-обработке и отсутствия патогенной микрофлоры благодаря стерилизующему эффекту СВЧ). Оно может использоваться в пищевой, косметической промышленностях, медицине для производства продуктов лечебно-профилактического назначения, а также в качестве биологически активной добавки в масложировой промышленности. Кедровый шрот может быть использован для получения кедровой муки, которая находит применение в кондитерской и молочной промышленностях, а также для производства БАД на основе кедрового шрота, ферментированного бифидобактериями [6]. Экстракт скорлупы может быть использован в фармацевтической промышленности (установлена его

противовоспалительная и желчегонная активность [7]), в ликеро-водочной промышленности, как пищевой краситель, а также в кожевенно-меховой промышленности. Твердый остаток скорлупы после экстракции может быть направлен на получение активированных углей (извлечение экстрактивных веществ в ЭМП СВЧ способствует улучшению характеристик получаемых сорбентов [1]).

Из шелухи шишек и скорлупы кедровых орехов выделено эфирное масло, определен его компонентный состав. Благодаря входящим в них компонентам кедровые эфирные масла обладают широким спектром антимикробного действия и практически не проявляют аллергенную активность. Они могут быть использованы для получения эфирных масел из отходов шишек с целью применения в составе парфюмерно-косметических, биологически активных композиций и при изготовлении декоративно-облицовочных плиток [4]. Эти изделия благодаря значительному содержанию в шелухе шишек эфирных масел могут быть использованы и для оздоровления воздуха в помещениях. Данная декоративно-облицовочная плитка – композиционный древесный материал, в состав которого входят скорлупа кедрового ореха, шелуха кедровой шишки и смола кедра в качестве связующего элемента.

Таким образом, на основании результатов исследований была разработана принципиальная технологическая схема комплексной переработки кедровых орехов. Отличительными особенностями данной схемы являются замена токсичных растворителей пищевым спиртом этиловым и использование СВЧ-энергоподвода для интенсификации процесса экстракции, что позволило увеличить выход целевых компонентов, значительно снизить энергозатраты, максимально сохранить биологическую ценность компонентов сырья и обеспечить экологическую чистоту получаемых продуктов. Комплексный подход к переработке сырья, основанный на оптимальном использовании всех его ценных компонентов, способствует повышению рентабельности его переработки, безотходности производства, снижению себестоимости получаемых продуктов, расширению области их использования и созданию широкого ассортимента продуктов пищевого, лечебно-профилактического и технического назначения. Разработанная технологическая схема реализована в ООО «МИП «Байкалэкопродукт» г. Улан-Удэ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бальбурова Т.А., Ширеторова В.Г., Золтоев Е.В. и др.* Получение активных углей из скорлупы кедрового ореха // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81. С. 162–166.
2. *Патент* РФ на изобретение № 2194070. Способ получения кедрового масла / Хантургаев Г.А., Хантургаев А.Г., Ширеторова В.Г. Опубл. Б.И. №15 от 10.12.2002.
3. *Патент* РФ на изобретение № 2351641. Способ получения экстрактивных веществ из скорлупы семян сосны сибирской / Залуцкий А.В., Котова Т.И., Ширеторова В.Г. и др. Опубл. Б.И. № 10 от 10.04.2009.
4. *Патент* РФ №: 2442697. Способ получения декоративных изделий из отходов хвойных деревьев / Хантургаев А.Г., Ширеторова В.Г., Котова Т.И. и др. Опубл. БИ № 5 от 20.02.2012.
5. *Семена* кедра сибирского / под ред. Н.Е. Судачковой. Новосибирск: Наука, 1979. 128 с.
6. *Хамагаева И.С., Хантургаев А.Г., Столярова А.С., Ширеторова В.Г.* Разработка технологии получения кисломолочного напитка «Бифивит кедровый» / Пищевая промышленность. 2015. № 2. С. 12–14.
7. *Ширеторова В.Г.* Противовоспалительная активность экстракта скорлупы семян *Pinus sibirica* Du Tour // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–2. С. 352–354.

УДК 547.913

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЭФИРНЫХ МАСЕЛ ХВОИ КЕДРОВЫХ СОСЕН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

В.Г. ШИРЕТОРОВА, С.А. ЭРДЫНЕЕВА, Л.Д. РАДНАЕВА

Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия (vshiretorova@rambler.ru)

Методом ГХ-МС определен компонентный состав эфирных масел, выделенных методом гидродистилляции из древесной зелени сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) и кедрового стланика (*Pinus pumila*), произрастающих на территории Республики Бурятия. Определена изменчивость компонентного состава эфирных масел в зависимости от периода вегетации и эколого-географических факторов.

VARIABILITY OF THE CEDAR PINE LEAF ESSENTIAL OILS COMPONENT COMPOSITION IN DEPENDENCE ON ECOLOGICAL AND GEOGRAPHIC FACTORS

V.G. SHIRETOROVA, S.A. ERDYNEEVA, L.D. RADNAEVA

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russia (vshiretorova@rambler.ru)

The component composition of essential oils extracted by hydrodistillation from leaf of Siberian pine green wood (*Pinus sibirica* Du Tour) and dwarf pine (*Pinus pumila*) growing within the Republic of Buryatia was determined by GC-MS. The variability of the essential oils composition in dependence on growing season and environmental-geographical factors was analyzed.

Летучие вещества лесообразующих хвойных деревьев рода Pinus выделяются в атмосферу в большом количестве, оказывая влияние на многие атмосферные процессы, в том числе и на формирование аэрозолей, играют важную роль как сигнальные вещества для насекомых, обладают антибактериальной и антифунгальной активностью и широко используются как биологически активные вещества [1]. Изменение содержания и состава летучих терпеноидов хвойных пород является одной из чувствительных реакций при ранней диагностике состояния древостоев в условиях усиливающегося загрязнения воздушной среды [2].

На территории Республики Бурятия произрастают два вида кедровых сосен – сосна сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) и кедровый стланик (*Pinus pumila*). Для последнего здесь проходит западная граница ареала произрастания. Кедр сибирский (сосна сибирская) – одна из основных лесообразующих пород страны. Произрастает в Западной, Средней и Восточной Сибири, незначительно заходит за Уральские горы, в европейскую часть России [3]. Кедровый стланик (сосна кедровая стланиковая) – хвойный крупный кустарник, занимающий поверхности горных хребтов на значительных территориях и формирующий верхнюю границу лесов. В России его ареал охватывает Дальний Восток и Восточную Сибирь.

Имеются подробные сведения о составе эфирных масел хвои сосны сибирской, произрастающей в Западной и Южной Сибири [4–6], для Восточной Сибири сведения носят фрагментарный и неполный характер. Достаточно подробно изучены эфирные масла хвои кедрового стланика, произрастающего в Японии и на территории Хабаровского края [7]; по кедровому стланику, произрастающему в Республике Бурятия, подобных исследований ранее не проводилось.

На компонентный состав летучих соединений одного и того же вида растения большое влияние оказывают условия произрастания. Соединения, выделяемые растением из одного географического региона, могут не обнаруживаться или не являться видоспецифичными для растения из другого региона. В этом плане следует

отметить актуальность изучения влияния эколого-географических факторов на накопление и компонентный состав БАВ, в том числе терпеноидов, ценным растительным сырьем, произрастающим в Республике Бурятия. Это обусловлено тем, что удаленность территории республики от океанов, расположенность ее в центре обширного Евразийского материка и горно-котловинный рельеф сформировали своеобразный и по-своему уникальный климат.

Образцы древесной зелени сосны сибирской и кедрового стланика собирали в условиях естественного произрастания в январе, мае, июле и октябре. Древесная зелень представляла собой верхушки побегов длиной 15–30 см, наибольший диаметр веточек в нижнем отрубе не превышал 7–8 мм. Массовая доля хвои составляла 80–85 %. Собранное сырье до проведения гидродистилляции хранили при температуре 20 °С. Эфирное масло получали методом гидродистилляции из измельченного до 1–2 мм сырья в лабораторной установке с насадкой Клевенджера. Компонентный состав эфирного масла определяли методом хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе Agilent Packard HP6890 N с квадрупольным масс-спектрометром (HP MSD 5973), в качестве детектора использовалась 30-метровая кварцевая колонка HP-5 MSD с внутренним диаметром 0,25 мм. Процентный состав эфирного масла вычисляли по площадям газохроматографических пиков без использования корректирующих коэффициентов. Качественный анализ был основан на сравнении рассчитанных значений линейных индексов удерживания, времен удерживания, полных масс-спектров с библиотекой хромато-масс-спектрометрических данных летучих веществ растительного происхождения. Вычисление линейных индексов удерживания J выполняли в соответствии с [8]. Количественный анализ проводили методом внутренней нормировки по площадям пиков без использования корректирующих коэффициентов.

Результаты хромато-масс-спектрометрического анализа показали, что в состав эфирного масла древесной зелени *P. sibirica* входит от 56 до 79 компонентов. Среди идентифицированных компонентов два имеют массовые концентрации более 10 % – альфа-пинен и лимонен/бета-фелландрен. С концентрацией 1–10 % обнаружено 16 веществ, содержание остальных компонентов составило менее 1 %. Содержание монотерпенов составляет от 66 до 93,5 % от суммы компонентов и изменяется в зависимости от сезона и места произрастания. Доминирующими компонентами эфирных масел хвои сосны сибирской из Бурятии являются монотерпены: альфа-пинен, бета-пинен, лимонен, бета-фелландрен и сесквитерпены: гермакрен Д и дельта-кадинен.

В составе эфирного масла древесной зелени *P. pumila* определено от 47 до 69 компонентов, из них в наибольшей массовой доле представлены: α-пинен (41–50 %), лимонен (11–20 %), камфен (2–5 %), терпинолен (2–5 %). Содержание монотерпенов составило 80–85 % от суммы компонентов, сесквитерпенов – 10–15 %, кислородсодержащих соединений – 2–5 %.

Качественный состав различных образцов эфирных масел *P. sibirica* и *P. pumila* остается постоянным по времени сбора, значительные изменения наблюдаются в количественном содержании компонентов. По полученным данным определена сезонная динамика компонентного состава исследованных эфирных масел. Вегетационное развитие растительного организма отражается на составе эфирного масла. Преимущественно это выражается в изменении соотношения терпеновых соединений. Максимум монотерпеновых углеводородов найден в июльских образцах, в период полного развития фотосинтетический деятельности растения. Весной и осенью их вклад ниже. Минимум запасов монотерпенов отмечается в зимнее время. Существенно изменяется относительное содержание кислородсодержащей и

сесквитерпеновой фракции в течение годового цикла: в 3–4 и в 2 раза соответственно. Их минимальное количество найдено в июле, максимальное – в январе, когда организм находится в состоянии покоя.

Проведено сравнение компонентного состава эфирных масел в зависимости от мест произрастания: для сосны сибирской с образцами из Средней и Западной Сибири [4–6], Монголии [9], для кедрового стланика – с образцами из Хабаровского края и Японии. Для эфирных масел сосны сибирской из Бурятии и Монголии характерно более высокое содержание монотерпеновой фракции, что, возможно, обусловлено большей продолжительностью солнечного сияния в данных регионах, поскольку интенсивность образования монотерпеноидов коррелирует с освещенностью и возрастает с увеличением прозрачности атмосферы, что может считаться показателем загрязнения воздуха [2].

При сравнении полученных данных компонентного состава эфирного масла кедрового стланика с литературными данными [7] установлено, что основными компонентами являются одни и те же монотерпеновые углеводороды, однако соотношения некоторых из них различаются в несколько раз, что может быть связано с эколого-географическими условиями произрастания. Так, содержание α-пинена в полученном нами эфирном масле оказалось выше в 2–5 раз. Содержание 3-карена, известного своей высокой аллергенной активностью, в исследованных нами образцах было ниже почти в 5 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Домрачев Д.В., Карпова Е.В., Горошкевич С.Н. и др.* Сравнительный анализ летучих веществ хвои пятихвойных сосен Северной и Восточной Евразии // Химия растительного сырья. 2011. 4. С. 89–98.
2. *Сотникова О.В., Степень Р.А.* Эфирные масла сосны как индикатор загрязнения среды // Химия растительного сырья. 2001. 1. С. 79–84.
3. *Флора* Сибири: в 14 т. / под ред. Л.И. Малышева. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1988. Т. 1: Lycopodiaceae — Hydrocharitaceae / под ред. И.М. Красноборова. С. 80.
4. *Ефремов А.А., Зыкова И.Д.* Компонентный состав эфирных масел хвойных растений Сибири. Красноярск: СФУ, 2013. 132 с.
5. *Нарчуганов А.Н., Струкова Е.Г., Ефремов А.А.* Компонентный состав эфирного масла сосны сибирской *(Pinus sibirica)* // Химия растительного сырья. 2011. 4. С. 103–108.
6. *Ткачев А.В., Прокушева Д.Л., Домрачев Д.В.* Дикорастущие эфирномасличные растения Южной Сибири. Новосибирск: Изд-во ООО «Офсет-ТМ», 2017. 575 с.
7. *Стародубов А.В., Домрачев Д.В., Ткачев А.В.* Состав эфирного масла кедрового стланика (*Pinus pumila*) из Хабаровского края // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 81–86.
8. *Ткачев А.В.* Исследование летучих веществ растений. Новосибирск: Наука, 2008. 969 с.
9. *Shatar S., Adams R.P.* Analyses of the Leaf and Resin Essential Oils of *Pinus sibirica* (Rupr.) Mayr from Mongolia // J. Essent. Oil Res. 8: 549–552.

УДК 574.3

БИОГЕННЫЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОДНОГО СОСТАВА ДРЕВОСТОЯ

А.С. ШИШИКИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

Приводятся последствия действия биогенного фактора на породный состав древостоя. Обращается внимание на естественность процесса вспышек «вредителей» и их значение в сукцессионной смене поколений древесных пород. В монодоминантных насаждениях, находящихся в оптимальных условиях произрастания, «вредители» изменяют возрастную структуру древостоя. При смешанном составе и избирательном повреждении они влияют на породный состав и существенно задерживают формирование хозяйственно важных древостоев.

BIOGENIC FACTOR OF FORMATION OF SPECIES COMPOSITION IN THE TREE STANDS

A.S. SHISHIKIN

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

The effects of the biogenic factor on the species composition of the stand are given. Attention is paid to the naturalness of the outbreak process of «pests» and their significance in the succession of generations of tree species. For monodominant plantations that are in optimal growing conditions, «pests» change the age structure of the stand. With a mixed composition and selective damage, they affect the species composition and significantly delay the formation of economically valuable tree stands.

Вспышки массового размножения очагов первичных вредителей, корневых патогенов и хвоегрызущих насекомых (сибирский и непарный шелкопряды, сосновая и пихтовая пяденицы), обусловлены закономерностями лесообразовательного процесса и необходимостью смены генераций древесных пород. Они вносят породное и сукцессионное разнообразие в лесной покров, но при этом существенно подрывают экономику лесозаготовок. Поэтому «вредителями» считаются патогены и насекомые, которые поражают ценные древесные породы, вмешиваясь в формирование хозяйственно-продуктивных или повреждая спелые древостои, перспективные для заготовки древесины. Биогенные «деструкторы» лесного покрова активизируются при ослаблении защитных реакций деревьев в результате возрастного состояния или климатических изменений. При этом «вредители» всегда присутствуют в биогеоценозе, но проявляют свою биоценотическую активность только в определенных видоспецифических или климатических условиях. Последствия вспышек «вредителей» по-разному влияют на древостой, меняя его возрастную структуру или породный состав.

В лиственничниках хребта Хан-Хухий (Монголия) куртинное усыхание лиственницы в результате поражения корневыми патогенами не приводит к смене породного состава, но снижает полноту насаждений и способствует образованию лесных полян с последующей пастбищной нагрузкой на лесовозобновление [6]. Повреждение лиственничной сибирской чехлоноской приводит к частичной дефолиации крон лиственницы, и в результате смены светового режима мелкотравный тип леса меняется на крупнотравный, усиливающий пастбищную нагрузку на насаждения. Одноразовое повреждение лиственницы непарным и сибирским шелкопрядами в Туве не ведет к ее гибели, но ограничивает распространение насаждений в степь. Наблюдается непрерывное движение очага по подножью Тувинской котловины против часовой стрелки. Межвспышечный период сибирского шелкопряда в одном лесничестве (Шагонарское, Тандинское) составляет 8–13 лет, а в

северных лесничествах (Туранское) вспышка возникает на 2–3 года позже [5]. Вспышка численности непарного шелкопряда (повреждает все древесные породы, и его не лимитирует кормовая база) усиливается в местах с распространением скал, где бабочки откладывают яйца (Каа-Хемское лесничество). Этот вид даже внедрился в высокогорную зону (хр. Хорумнуг-Тайга), где произрастал кедр, куда не мог проникнуть сибирский шелкопряд. В других частях ареала шелкопрядов их вспышка обусловливается неблагоприятными погодными условиями (засухой), а в Тувинской котловине – биологической цикличностью вида [1]. В Туве и Монголии по климатическим и почвенным условиям в климатической зоне поражения хвоегрызущими насекомыми, кроме лиственницы, ничего не растет, поэтому любое повреждение этой породы не приводит к смене состава древостоя: меняется только его структура (возраст, полнота, тип леса). Аналогичная ситуация складывается и в результате активности корневых патогенов и усыхания кедровников (р. Швея) на водораздельных поверхностях. В очагах поражения формируются поляны с альпийской растительностью, но под пологом послепожарных лиственничников и каменистых россыпях идет успешное возобновление кедра.

В горно-таежной зоне Кузнецкого Алатау при доминировании пихтовых лесов наблюдается поражение пихты (5 %) корневыми патогенами (подсушины в основании ствола, напоминающие огневое повреждение, что невозможно при сумме осадков более 800 мм в год). Такое повреждение приводит к вывалу стволов и формированию окон в древесном пологе, что снижает полноту, а также приводит к разновозрастности древостоя без смены породного состава.

При смешанном составе и вариантности произрастания древесных пород происходят более кардинальные изменения насаждений в результате трофической избирательности «вредителей». Известный пример 30-х годов – с очагом пихтовой пяденицы в Тубинском массиве, когда пришлось существенно корректировать заготовку древесины на юге Красноярского края. В настоящее время наблюдается массовая активность нетрадиционных «вредителей», которые существенно влияют на породный состав древостоев. В последние 20 лет большое распространение получили корневые патогены, которые спровоцировали нападение на древесные породы комплекса ксилофагов [2]. По мнению И.Н. Павлова [4], первопричина в заселении и угнетении ксилофагами кедра и пихты – в возросшей агрессивной деятельности опенка (*Armillaria mellea*), который способен модифицироваться и иметь различные формы. Активность этого «вредителя» обусловлена климатическими изменениями, возрастным состоянием древостоев и условиями произрастания древесных пород. Массовое усыхание старовозрастных кедровников гор юга Сибири привело к формированию разреженных пихтовых древостоев или сухостойных пустырей. Разрастание мощного напочвенного покрова создает благоприятные условия для возникновения пожара и последующего порослевого возобновления лиственных пород. Интересно, что на юге Красноярского края в основном поражается кедр, а в южной части Енисейского кряжа при смешанном кедрово-пихтовом составе древостоя – пихта. При этом только 30 % деревьев пихты имели выделения смолы в результате деятельности ксилофага – полиграфа уссурийского. Остальные засохли без его повреждений, т. е. в результате деятельности корневых патогенов.

Кедр (сосна сибирская), являясь зоогенной породой, может возобновиться только на очень короткой кипрейной стадии гари (2–3 года) или после смыкания лиственных пород в стадии жердняка. Успешное возобновление возможно при условии сохранения семенных кедровников и их обильном плодоношении, чего не наблюдается в последние 15 лет. При этом лесная политика выделения орехопромысловых зон и запрет рубки кедра оказались губительны для горно-таежных кедровников. В настоящее время

старовозрастные кедровники разрушаются, а на их месте формируются разреженные, захламленные, высокотравные пихтовые редины, на которых процесс лесовоосстановления остановился до пожара. В этих же условиях на вырубках при сохранении кедрового подроста идет успешное формирование кедровых насаждений. Исторический анализ формирования монодоминантных кедровников гор юга Сибири свидетельствует о предшествующих катастрофических пожарах 200-летней давности (угли в почвенных разрезах), которые и способствовали их формированию. Возможно, климатический и биоценотический механизм лесообразовательного процесса повторяется, и мы сейчас находимся на стадии разрушения старовозрастных кедровников.

Анализ динамики прироста кедра по пням на лесосеке сплошной санитарной рубки (Абазинское лесничество, Хакасия) засохшего чистого по составу кедровника выявил три закономерности [2]. Кедровник имел пирогенное происхождение, на что указывает одновозрастность деревьев и хороший прирост в начале роста: если подрост выходит из-под полога лиственных пород, он имеет низкий первоначальный радиальный прирост. Вторая закономерность – в том, что хороший прирост сохранялся до 75 лет, т. е. молодняки были неперегущенными и смыкание крон началось уже после формирования древесного полога; в последующие 70 лет интенсивность роста постепенно снижалась, что характерно для этого возрастного состояния. Третья – в последние 20 лет прирост сохранялся и древостой засох без его снижения, т. е. наблюдалось действие фактора, приведшего к практически мгновенному прекращению физиологических процессов.

Таким образом, темпы радиального прироста усыхающих кедровников и их санитарное состояние указывают на отсутствие известных в настоящее время закономерностей массового отпада деревьев. Теоретически можно предположить, что современные кедровники, монокультура одного поколения, достигли предела своей возрастной устойчивости, и включился механизм ее смены. В современной истории лесоведения такое явление, имеющее массовый характер, встречается впервые.

В 2013 году в Хакасии «Российским центром защиты леса» проведено обследование 1,5 млн га насаждений семи лесничеств, выявлено 12,3 % погибших насаждений [3]. Всего в горах юга Сибири, по экспертной оценке, погибло около 1 млн га кедровников, в том числе в орехопромысловой зоне. Лесопатологи не определили закономерности усыхания. Куртины и участки с усыханием могли достигать площади тыс. га и более по всем элементам рельефа и склонам разных экспозиций (III–IV бонитета). Усыханию подвержены деревья всех классов Крафта в возрасте 80–300 лет без приуроченности к определенному типу леса. Последующее заселение ксилофагами происходит только на ослабленную корневыми патогенами часть ствола, при этом они не могут повреждать здоровую часть луба дерева и вызывать его гибель. Специалисты Рослесозащиты дали прогноз о продолжающемся заражении корневыми фитопатогенами кедровников и ежегодном увеличении их гибели в Хакасии на площади 50 тыс. га. В Красноярском крае подобной оценки не проводилось.

Цикличность между вспышками (девять) массового размножения сибирского шелкопряда при площади поражения около и более млн га составляет 10,5 (8–26) лет [1]. За прошедшее столетие наиболее мощная вспышка сибирского шелкопряда наблюдалась в середине 50-х годов в Чулымо-Кемском междуречье. По современным материалам космической съемки, в очагах поражения 40 % кедровников погибло, 20 % не повреждалось по микроклиматическим условиям (долины, болота), осталась третья часть пихтачей зеленомошных; последний пожар по шелкопряднику прошел 24 года назад. До этого площади шелкопрядника прогорали минимум три раза с обновлением

порослевого лиственного возобновления. В настоящее время высокополнотные лиственные насаждения вошли в стадию средневозрастных и устойчивы к возникновению пожара. От сохранившихся по долинам и болотам фрагментам темнохвойных древостоев (ель, пихта, кедр) идет подпологовое возобновление. Обычно распространение подроста этих пород не превышает 200–300 м от источника обсеменения.

В результате повреждения темнохвойных пород шелкопрядом возможно три сукцессионных сценария формирования насаждений. Первый – гибель чистых кедровников и пихтачей зеленомошной группы без лиственных пород в составе и прогорания свежего шелкопрядника приведет к восстановлению древостоя без смены пород. Второй – при смешанном составе с участием осины и березы произойдет куртинное лиственное порослевое возобновление с высокотравьем (вейником), которое спровоцирует прогорание в пожароопасные сезоны (через 10–12 лет). Третий – доминирование лиственных на старых вырубках с объеданием оставленных после рубки темнохвойного подроста и куртин приведет к формированию лиственных насаждений. При этом пожары существенно корректируют сукцессионные процессы и способствуют формированию лиственных молодняков высокой сомкнутости с последующим подпологовым возобновлением темнохвойных пород.

Заключение. Катастрофичность явления вспышек «вредителей» проявляется уничтожением сырьевых лесов и старовозрастных кедровников, которые сменились большими гарями, а затем лиственными древостоями. В настоящее время перспектива восстановления прежних кедровых массивов южной тайги Западной Сибири не просматривается. Современные вспышки шелкопряда реализуются на территории оставшихся старовозрастных темнохвойных лесов на фоне запрета рубок кедра. В этих условиях гибель темнохвойных насаждений приводит к потере древесины, а оставленный и поврежденный «вредителем» подрост и недорубы на лесосеках способствуют еще большей смене коренных лесов на производные лиственные. К сожалению, неповреждаемые долинные насаждения не могут обеспечить семенным материалом огромные площади шелкопрядников. Более того, разреженность полога в результате дефолиации крон темнохвойных пород провоцирует порослевую активность осины и разрастание травянистого напочвенного покрова с формированием высокой плотности мышевидных, что исключает появление подроста лиственных до стадии жердняка, т. е. возобновление темнохвойных пород задерживается минимум на 20 лет, если исключить действие пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кондаков Ю.П.* Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края // Энтомологические исследования в Сибири. Вып. 2. Красноярск: КФ РЭО, 2002. С. 25–74.
2. *Отчет* НИР «Предварительная оценка санитарного состояния кедровников Республики Хакасия». Отв. исполнитель А.С. Шишикин. Красноярск, 2012. 125 с.
3. *Отчет* «По лесопатологическому мониторингу экспедиционным методом части насаждений Абазинского, Бейского, Горячегорского, Копьёвского, Саралинского, Саяногорского и Таштыпского лесничеств Республики Хакасия. Отв. исполнитель гл. инженер л/у проекта Е.Е. Бахарев. Пушкино, 2013–2014 гг. 51 с.
4. *Павлов И.Н.* Техногенные и биотические механизмы деструкции коренных лесов юга Сибири и их восстановление: автореф. дисс. … докт. биол. наук: 06.03.03, 03.00.16. М., 2007. 43 с.
5. *Фомин С.Н., Сапелкин С.В.* Исследование очагов сибирского и непарного шелкопрядов в Республике Тыва // Доклады XIV Международного симпозиума, Улан-Батор, 2018. С. 205–216.
6. *Шишикин А.С., Ефимов Д.Ю., Лощев С.М., Мурзакматов Р.Т., Буянцог Б-О.* Леса хребта Хан-Хухий (Монголия) // Сиб. лесн. журн. 2018. № 6. С. 3–14.

УДК 574.9

БАССЕЙНОВЫЙ ПРИНЦИП ОРГАНИЗАЦИИ ЛАНДШАФТНЫХ СТРУКТУР

А.С. ШИШИКИН, Т.А. БУРЕНИНА, Т.В. ПОНОМАРЕВА, Д.Ю. ЕФИМОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

Бассейновый подход обычно используется для организации гидрологических исследований. В приведенных материалах доказывается, что этот подход имеет универсальное значение при выделении ландшафтных комплексов, включающих почву, растительность и местообитания животных. Ландшафтная организация территорий по бассейновому принципу рассматривается на примере четырех географических разностей: широтной лесотундры, среднетаежной заболоченной Западной и горной Восточной Сибири, гор юга Сибири.

BASIN PRINCIPLE OF THE LANDSCAPE STRUCTURES ORGANIZATION

A.S. SHISHIKIN, T.A. BURENINA, T.V. PONOMAREVA, D.Yu. YEFIMOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

The basin approach is usually used to organize hydrological research. The above materials prove this approach is universal importance in the identification of landscape complexes, including soil, vegetation and habitats of animals. Landscape organization of territories according to the basin principle is considered on the example of four geographical variations: the latitudinal forest-tundra, the waterlogged middle taiga Western Siberia, mountainous Eastern Siberia, the mountains of Southern Siberia.

Дифференциация территории по тем или иным признакам, выделение территориальных единиц имеет не только важное научное значение, позволяя систематизировать и экстраполировать полученные данные, но и является нормативным базисом для управления природопользованием. Ландшафтоведение предлагает наиболее объективное, комплексное, экосистемное по сумме всех свойств членение территорий на ландшафтные зоны, страны, области, провинции, округа, ландшафты и их части: местности, урочища и фации. Ландшафтные единицы понимаются нами как однородные природные (территориальные) образования, в пределах которых функционируют определенного масштаба экосистемы. Все тематические направления изучения компонентов экосистемы имеют собственные (частные) классификации земной поверхности: климатическое, геоморфологическое, геоботаническое, почвенное, зоологическое и т. д. К сожалению, невозможно наложить эти информационные слои с совпадением контуров, поскольку зачастую в них присутствует авторская субъективность, а не объективное строение земной поверхности. В свою очередь ландшафтоведение, не имея отрасли для своего применения, часто представляет субъективное отражение закономерностей строения земной поверхности, что не позволяет однозначно выделить пространственную тематическую информацию и применить ее на практике. В связи с этим предлагается универсальный единый критерий выделения контурной основы для тематического наполнения, что позволит объективно по тематическому сочетанию выделить ландшафты и определить закономерности их функционирования. Доступность и детальность ДДЗ, а также наличие программ по обработке изображения представляют бассейновый принцип выделения ландшафтных единиц как наиболее современный и оптимальный.

Водосборный бассейн, в отличие от тематических классификаций и различных вариантов природного районирования, является целостной и относительно самостоятельной единицей в организации земной поверхности. Речные водосборы отражают реальные природные границы, имеющие четкие дешифровочные признаки, и однозначно определяются по картам и космоснимкам, а также характеризуются

упорядоченными, повторяющимися, пространственно организованными материальными и энергетическими потоками [1, 2, 3, 5]. Помимо такой характеристики, как целостность, речные бассейны обладают набором структур и функций, иерархичностью строения, устойчивостью и способностью к саморазвитию. Эти свойства, особенно закономерности (прогнозируемость) руслового процесса, устойчивость к внешнему воздействию, типичность формирования абиотических и биотических условий являются основными свойствами ландшафта. Выделение границ водосборных бассейнов различных уровней по космическим снимкам и цифровым картам рельефа отличается объективностью и однозначностью. Практически вся суша нашей планеты представляет собой совокупность (макросистему) речных бассейнов. Это универсальный критерий пространственной организации земной поверхности, что является одним из главных обоснований повсеместного применения бассейновой концепции. При этом бассейн как ландшафтообразующая единица, объединяющая почвенные, геоботанические и зоологические параметры, состоит из четырех основных поверхностей: пойма (ежегодно затапливаемая часть), долина и террасы (переработанная руслом поверхность), склоны, водораздел. Каждая из этих поверхностей обладает специфическим набором геоморфологических факторов (выпуклые, вогнутые, крутые, пологие), которые определяют условия почвообразования и соответственно местообитания для произрастания растительности и животных.

Однотипность структур и выполняемых функций, а также подобие строения рельефа и речных бассейнов позволяют создавать типовые подходы к оценке геоэкологических ситуаций, сложившихся в их пределах, а также с учетом физико-географических особенностей регионов производить пространственную экстраполяцию результатов исследований для других бассейнов [2, 3, 5]. В последние десятилетия в качестве пространственной ячейки при различных видах тематического картирования природных объектов используются водосборные бассейны [4, 5, 6].

Формирование почвенного покрова контролируется морфометрическими характеристиками рельефа, которые в свою очередь являются результатом бассейнообразования. Перенос вещества и энергии в речных бассейнах осуществляется сверху вниз: от коренных склонов к руслу реки, от истока к устью. К различным морфологическим элементам бассейна приурочено формирование определенных типов почв. Выше истоков ручьев, притоков и водосборных воронок наблюдаются биогеоклиматогенные закономерности формирования высотной поясности. В местах водосборных воронок почвенный покров испытывает влияние гидрологического фактора, что вызывает переувлажнение и оглеение почв. На склонах увеличивается дренированность почв, наблюдается дифференциация почвенного профиля от водораздела к водотоку, его мощности и биологической продуктивности. Развитие почв в речных долинах определяется составом геологических пород и степенью их разрушения; преобладает аллювиальный процесс, который накладывается на процессы физического и химического выветривания [1].

Различия бассейновой организации ландшафтов наиболее контрастны на уровне природных зон и географических стран. В лесотундре на вечной мерзлоте при полном световом дне вегетационного периода нет отличий, зависящих от экспозиции склонов. Ведущее значение приобретает уклон и высотная поясность, а также дренированность грунтов. На водораздельных выпуклых поверхностях не задерживается снег и формируется тундровая растительность. При этом наблюдается ксерофитизация растительности, поскольку влага связана мерзлотой, а жидкие осадки быстро (в течение суток) стекают с мерзлого грунта. На вогнутых поверхностях происходит заболачивание, заторфованность и образование озер, которые могут быть истоками

водотоков. Склоновые поверхности с хорошей дренированностью и грунтовым стоком способствуют развитию крупнотравья и более мощных, глубоко оттаивающих летом почв с отсутствием признаков оглеения. Долины представлены двумя видами: межгорные послеледниковые криогенно-бугристые озерные равнины и собственно долины современных водотоков. Для равнин сохраняются те же закономерности, что и на водоразделах – выпуклые поверхности лишайниковые на более легких лессовых отложениях, вогнутые – торфяные и глеевые почвы на глинистых грунтах. Дренированные долины и поймы отличаются более высокой продуктивностью, разнообразием травянистой растительности, деревьев и кустарников и соответственно животным населением, для которых они служат рефугиумами в лесотундровой зоне и своеобразным экологическим каркасом.

Бассейновая организация ландшафтов среднетаежной заболоченной Западной Сибири отличается большим распространением водораздельных озерно- и озерковогрядовомочажинных болот (70 %) атмосферного питания, а также формированием долинных ингрессионных низинных болотных комплексов с высоким уровнем весенних паводков водотоков (перепад 10–12 м). На водоразделах преобладают гидроморфные и полугидроморфные почвы, имеющие признаки оглеения. В растительности доминируют мхи и полукустарники. На заболоченной поверхности ведущее значение приобретает дренированность грунтов, поэтому на береговых валах озер и вдоль истоков, а также на буграх среди болот формируются наиболее продуктивные пойменные и кедровые насаждения. В этом варианте гидрологический (дренированный) бассейн совпадает с залесенной территорией, а водораздельная часть представляет контрастирующий безлесный, озерно-болотный ландшафт со своими почвами, растительностью и животным населением. Внутри лесного ландшафта расположен болотный ингрессионный комплекс, начинающийся на террасах притоков второго порядка (речек) и продолжающийся с увеличением своей доли в лесном ландшафте до впадения в реку 4–5 порядков. При этом болотный ингрессионный комплекс отличается от водораздельного по своей структуре (пересекается облесенными руслами боковых притоков) и растительности (разнообразный травяной покров, связанный с минеральным питанием). Ландшафтная структура среднетаежных заболоченных территорий Западной Сибири хорошо проанализирована при отработке методики устройства заповедников на ландшафтной основе (заповедник Юганский) и использовании бассейнового подхода.

Среднетаежная горная Восточная Сибирь (Енисейский кряж + Южная Эвенкия). В горных условиях наблюдается одновременное развитие двух налагающихся и взаимообусловленных геосистем (вертикальной поясности и бассейнообразования), которые обусловливают интерференцию почвенных зон в высотно-поясном ряду [1]. Географическое положение перехватывающего влагу хребта Енисейского кряжа предопределяет преобладание пихтовых и кедровых лесов с производными лиственными насаждениями. Водораздельные притоки первого порядка обычно начинаются с переувлажненных альпийских полян и кедровых редин с кустарниками ольховника, имеющими «пальчатое» строение на космическом снимке. Ниже по течению, имея V-образную пойму и долину с небольшим перепадом весеннего паводка, гидрологическая сеть не вносит ландшафтного разнообразия на уровне 2–3 притоков, впадающих в р. Енисей. В почвенном покрове склоновых поверхностей доминируют подзолистые и метаморфические почвы, в поймах развиты маломощные торфяные. Далее на восток в Эвенкию резко снижается количество осадков и доминирует лиственничная формация на фоне очаговой мерзлоты по вогнутым элементам рельефа. Гидрологическая сеть вносит коррективы в структурное строение лесного ландшафта. Для пойменных участков крупных рек (3–4 порядок) в связи с

абразивной деятельностью льдин и наносом ила характерны высокие продуктивность и разнообразие травостоя. Вдоль мелких водотоков при небольшом уклоне образуются мерзлотные моховые ерниковые заросли, под экранирующим солнечную радиацию влиянием которых формируются криогенные почвы. Большие площади гарей, образующиеся после катастрофических верховых пожаров, приводят к выгоранию консервирующего мерзлоту мохово-лишайникового покрова и провоцируют солифлюкционные процессы. При этом лиственница погибает в результате обгорания корней, а не повреждения ствола. Продуктивность почв резко возрастает, что позволяет осине, березе и иве занимать свежие гари. Возобновлению коренных пород (не более 5 % гарей) препятствует недостаток семян (редкое плодоношение, низкая сохранность взрослых насаждений от огня). Распространение гарей и последующие сукцессионные процессы не имеют бассейновой привязки, но служат географическим каркасом для выделения участков с типичным лесообразованием.

Горы юга Сибири. На северном макросклоне доминирует значение высоты НУМ, которое определяет высотную поясность и соответственно климатический градиент. Выделяется высокогорный пояс редин и альпийских лугов, темнохвойный и подтаежный светлохвойных лесов и степей. Эти ландшафты хорошо дешифрируются по организации бассейнов. Ключи истоков расположены в альпийском поясе, речки и их притоки – в горно-таежном, реки с притоками – в подтаежном, закустаренные поймы рек с водосборными логами – в степном. Почвенный покров изменяется в соответствии со сменой поясов от литоземов и темногумусовых в альпийском поясе, буроземов в горно-таежном, серых в подтаежном до черноземов в степном. В связи с большим перепадом глубины снега (50–300 см) на профиле от основного водораздела до котловин характерна миграция копытных и сезонное использование местообитаний животными.

Ландшафтная организация южного макросклона гор юга Сибири отличается более контрастным климатом и большим распространением холодных степных участков, которые могут доходить до альпийского пояса (хр. Сангилен), а мерзлотные ерники высокогорной тундры по долинам выходят в степную зону (р. Тапса). Кроме того, на южном макросклоне гор Танну-Ола (бассейн оз. Убсу-Нур) водотоки второго порядка заканчиваются при выходе в котловину сухих степей. Долины третьего порядка (р. Тесь) характеризуются лугами и древесной растительностью. В этих условиях следует географически ограничить использование гидрологической сети для выделения ландшафтных образований. Получается обратная зависимость: если в равнинных, переувлажненных, заболоченных условиях Западной Сибири водоразделы не представлены истоками водотоков, то в аридной зоне, наоборот, устьевые части образуют безводные котловины. В этом случае древесная растительность представлена только по водотокам (долинам, теневым склонам). В первом и втором случае выявляются ландшафты, не имеющие структурных морфологических признаков гидрологической сети и бассейнов, поэтому они выделяются по морфологическому строению озерно-болотного комплекса или по подножьям залесенных гор аридных котловин. Образующими ландшафт элементами в сухих степях выступают горные массивы (скалистые, увалистые) и равнинные участки.

Заключение. Бассейновый подход с использованием ДДЗ и современного программного комплекса по их обработке позволяет унифицировать ландшафтный метод организации земной поверхности. Создаваемая на основе бассейнового подхода контурная основа включает все ведущие факторы (климат, гидрологию, почву, растительность, животных) формирования функционально связанной природной системы. Это позволяет организовать систему экстраполяции научных знаний и нормативов для эффективного хозяйственного использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Самойлова И.А., Шутов П.С.* Геосистемно-бассейновый подход как основа изучения структуры почвенного покрова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (147). С. 49–57.
2. *Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Селиванова Н.В., Чеснокова С.М., Репкин Р.В.* Бассейновый подход в экологических исследованиях. Владимир: ООО «ВладимирПолиграф», 2009. 80 с.
3. *Трифонова Т.А., Мищенко Н.В.* Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных. М.: ГЕОС, 2013. 272 с.
4. *Колбовский Е.Ю., Есипова Е.С.* Геоинформационные методы реализации ландшафтно-бассейнового подхода для оценки потенциального биоразнообразия лесного покрова Дальнего Востока // Геология, география и глобальная энергия. 2017. № 1 (64). С. 75–88.
5. *Корытный Л.М.* Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. 163 с.
6. *Шишикин А.С., Хританков А.М., Морозов П.П.* Классификация местообитаний животных с помощью бассейнового метода // ГИС в научных исследованиях заповедников Сибири: матер. докладов междунар. науч. конференции. Красноярск: ЦОП «Принтрэйд», 2001. С. 156–162.

УДК 575.174.015.3

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ В ГОРНОМ АЛТАЕ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ

Д.Н. ШУВАЕВ[1], Л.И. КАЛЬЧЕНКО[2], Т.И. СУЛИМЕНКО[2]

[1] ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Красноярского края», Красноярск, Россия (denis.shuvaev@gmail.com)
[2] ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Алтайского края», Барнаул, Россия (altay-lss@yandex.ru, t_larionova8@mail.ru)

С использованием 8 видоспецифичных ядерных микросателлитных локусов было исследовано 7 выборок сосны кедровой сибирской из естественных популяций Горного Алтая. Всего было обнаружено 37 аллелей. Средние наблюдаемые и ожидаемые оценки гетерозиготности составили 0,406 и 0,451 соответственно. Показатель межпопуляционной изменчивости F_{st} составил 1,9 %.

MICROSATELLITE VARIATION IN NATURAL POPULATIONS OF PINUS SIBIRICA IN ALTAI

D.N. SHUVAEV[1], L.I. KALCHENKO[2], T.I. SULIMENKO[2]

[1] Russian Centre for Forest Protection Center for Forest Protection of Krasnoyarsk Krai, Krasnoyarsk, Russia (denis.shuvaev@gmail.com)
[2] Russian Centre for Forest Protection Center for Forest Protection of Altai Krai, Barnaul, Russia (altay-lss@yandex.ru, t_larionova8@mail.ru)

Seven natural populations of *Pinus sibirica* in Altai were investigated by eight microsatellite loci. Total 37 alleles were found. The mean observed and expected heterozygosity values were 0,406 and 0,451, respectively. Interpopulation genetic diversity was 1,9 % of the total genetic diversity.

Введение. Принимая во внимание все возрастающую антропогенную нагрузку, сохранение генофондов основных лесообразующих видов является приоритетной задачей лесной генетики. В связи с этим важно изучать изменчивость видов в ненарушенных хозяйственной деятельностью человека экосистемах. *Pinus sibirica* Du Tour, или сосна кедровая сибирская, – один из основных лесообразующих видов хвойных, который является также и хозяйственно ценным видом. Поэтому исследования его изменчивости в естественных и ненарушенных популяциях представляют большой практический интерес с точки зрения разработки программ по сохранению лесных генетических ресурсов, а также имеют большое фундаментальное значение, поскольку именно ненарушенные популяции сохраняют адаптивный генетический потенциал вида и его способность отвечать на изменения окружающей среды в будущем. Горный Алтай является одним из немногих мест, где генетическая структура кедровых популяций воспроизводится в нативном состоянии.

Ранее с помощью аллозимных локусов были исследованы изменчивость, дифференциация и структура популяций кедра в широком ареале вида [2, 4, 5, 6, 7, 9]. Однако более детальных исследований генетической изменчивости популяций кедра внутри региона Горного Алтая не проводилось. Они ограничивались лишь относительно небольшим числом выборок и сравнением их преимущественно с выборками из популяций других регионов. По всей видимости, это было обусловлено в целом низкой изменчивостью аллозимных локусов и трудностями в оценке дифференциации популяций на микрогеографической шкале [5]. Высокополиморфные ядерные микросателлитные локусы могут помочь подробнее исследовать нативную генетическую структуру популяций кедра Горного Алтая и оценить уровень их изменчивости.

Материалы и методы. Каждая выборка из популяций была представлена 30 деревьями в возрасте 60–100 лет (табл. 1). Экстракцию суммарной ДНК проводили из хвои по стандартному CTAB-протоколу [8].

Было использовано 8 видоспецифичных ядерных микросателлитных маркеров: Ps_80612, Ps_364418, Ps_1375177, Ps_1502048, Ps_31489, Ps_25981, Ps_39709, Ps_718958, характеристики и режимы амплификации которых приведены в литературе [1]. Амплификация локусов проведена на термоциклере ABI 9700 (ABI, США).

Электрофорез продуктов амплификации проводили в 6%-м полиакриламидном геле с использованием TAE-буфера в вертикальных камерах VE-20 (ООО «Хеликон»). В качестве маркера стандартных длин использовали набор фрагментов ДНК O'RangeRuler 20bp (Thermo Scientific, США). Гели окрашивали в растворе бромистого этидия и проявляли на трансиллюминаторе (Vilber Lourmat, Франция) с последующим фотодокументированием. Молекулярный вес аллелей определяли в программе Photo-Capt 12.4. Обработку данных осуществляли в программе GenAlEx 6.5 [11].

Результаты и обсуждение. В результате исследования популяций кедра по 8 микросателлитным локусам было обнаружено 37 аллельных вариантов. Тест χ^2-квадрат на отклонение популяций от равновесия Харди – Вайнберга показал отсутствие значимых различий между наблюдаемыми и ожидаемыми значениями гетерозиготности при $P<0,05$ для всех маркеров. На основе аллельных частот локусов мы рассчитали параметры генетической изменчивости в популяциях кедра (табл. 1).

Таблица 1. Стандартные показатели генетической изменчивости в выборках популяций сосны кедровой сибирской в Горном Алтае

Популяции	N_a	N_e	H_o	H_e	F
Курай	3,500	1,952	0,369	0,447	0,180
Акташ1	3,625	1,906	0,463	0,450	-0,042
Акташ2	3,500	1,932	0,404	0,431	0,024
Сугул	3,250	2,065	0,428	0,468	0,119
Артыбаш	3,375	2,060	0,400	0,443	0,053
Талда	3,375	2,116	0,352	0,466	0,185
Онгудай	3,500	2,076	0,429	0,450	0,006
Среднее	3,446±0,178	2,016±0,091	0,406±0,022	0,451±0,023	-

Примечание. N_a – среднее число аллелей на локус, N_e – эффективное число аллелей, H_o – наблюдаемая гетерозиготность, H_e – ожидаемая гетерозиготность, F – индекс фиксации.

Наиболее заметны отличия от других популяций по наблюдаемой гетерозиготности и индексу фиксации у популяций Курай и Талда с 18- и 18,5%-м дефицитом гетерозигот соответственно. Данное различие можно объяснить, сопоставив местоположение выборок с картой растительности Алтая А.В. Куминовой [3]. Популяции Курай и Талда являются относительно небольшими лесными массивами, не соприкасающимися непосредственно с остальными крупными группами популяций, что, возможно, обусловило более высокий коэффициент инбридинга. При попарном сравнении выборок показатели межпопуляционной дифференциации F_{st} колебались от 0,528 до 2,4 %, что говорит о наличии интенсивного потока генов (N_em) между всеми изученными популяциями. Показатель F_{st} связан с N_em уравнением $F_{st}=1/(1+4\ N_em)$ [12]. Следовательно, величина потока генов, обусловленного распространением как

семян, так и пыльцы, составляет от 49,8 до 10,2 мигрантов на поколение. Усредненное значение N_em равнялось 12,8. Средний показатель F_{st} составил 1,9 % и является низким, что указывает на слабую дифференциацию популяций. Это согласуется с более ранними данными, полученными для вида [4, 5, 9]. Вполне вероятно, что значительный вклад в низкую дифференциацию кедровых популяций вносит орнитохория. Анализ дифференциации выборок с помощью UPGMA-кластеризации матрицы генетических дистанций Неи [10] выявил структуру, хорошо согласующуюся с географическим распределением выборок. Дистанции Неи варьировали от 0,007–0,011 в группе близких выборок (20–40 км) – Курай, Акташ1 и Акташ2 – до 0,021–0,045 для наиболее удаленной по сравнению с остальными выборки Сугул (70–230 км). Таким образом, полученные с помощью микросателлитных маркеров генетические дистанции позволяют увидеть различия между выборками популяций на микрогеографической шкале внутри одного региона и могут быть полезны для изучения межпопуляционных отношений у кедра несмотря на низкие уровни межпопуляционной дифференциации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белоконь М.М., Политов Д.В., Мудрик Е.А., Полякова Т.А., Шатохина А.В., Белоконь Ю.С., Орешкова Н.В., Путинцева Ю.А., Шаров В.В., Кузьмин Д.А., Крутовский К.В.* Разработка микросателлитных маркеров сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) по результатам полногеномного *de novo* секвенирования // Генетика. 2016. С. 1418–1427.
2. *Гончаренко Г.Г., Падутов В.Е., Силин А.Е.* Степень генетической подразделенности и дифференциации в природных популяциях кедровых сосен СССР // Докл. АН СССР. 1991. Т. 317. № 6. С. 1477–1483.
3. *Куминова А.В.* Растительный покров Алтая. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1960. 456 с.
4. *Крутовский К.В., Политов Д.В., Алтухов Ю.П.* Генетическая изменчивость сибирской кедровой сосны *Pinus sibirica* Du Tour. Сообщение II. Уровни аллозимной изменчивости в природной популяции Западного Саяна // Генетика. 1988. С. 118–125.
5. *Крутовский К.В., Политов Д.В., Алтухов Ю.П. Милютин Л.И., Кузнецова Г.В., Ирошников А.И., Воробьев В.Н., Воробьева Н.А.* Генетическая изменчивость сибирской кедровой сосны *Pinus sibirica* Du Tour. Сообщение IV. Генетическое разнообразие и степень генетической дифференциации между популяциями // Генетика. 1989. С. 2009–2032.
6. *Крутовский К.В., Политов Д.В., Алтухов Ю.П.* Межвидовая генетическая дифференциация кедровых сосен Евразии по изоферментным локусам // Генетика. 1990. С. 694–707.
7. *Политов Д.В., Крутовский К.В., Алтухов Ю.П.* Характеристика генофондов популяций кедровых сосен по совокупности изоферментных локусов // Генетика. 1992. С. 93–114.
8. *Devey M.E., Bell J.C., Smith D.N. et al.* A genetic linkage map for *Pinus radiata* based on RFLP, RAPD, and microsatellite markers // Theor. Appl. Genet. 1996. 92 (6). P. 673–679.
9. *Goncharenko G.G., Padutov V.E., Silin A.E.* Allozyme variation in natural populations of Eurasian pines. II. Genetic variation, diversity, differentiation, and gene flow in *Pinus sibirica* Du Tour in some lowland and mountain populations // Silvae Genetica. 1993. 42 (4–5). P. 246–253.
10. *Nei M.* Genetic distance between populations // Amer. Nat. 1972. 106. P. 283–292.
11. *Peakall R., Smouse P.E.* GenAlEx V6: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // Mol. Ecology Notes. 2006. 6 (1). P. 288–295.
12. *Slatkin M.* Gene flow in natural populations // Ann. Rev. Ecol. Syst. 1985. 16. P. 393–430.

УДК 630: 581.16: 576.5: 582.475.4

ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРЫ МИКРОСПОРОФИЛЛОВ СОСНЫ СИБИРСКОЙ (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR) *IN VITRO*

А.С. ШУКЛИНА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (Alla.saymova@yandex.ru)

Получен андроклинный каллус сосны сибирской с применением методов культуры микроспорофиллов *in vitro*. Установлено, что индукция формирования каллуса определяется стадией развития экспланта и концентрацией регуляторов роста в питательной среде.

PECULIARITIES OF CULTURE IN VITRO OF MICROSPOROPHILLES OF SIBERIAN PINE

A.S. SHUKLINA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (Alla.saymova@yandex.ru)

Androclinic callus of Siberian pine using the methods *in vitro* culture are obtained. It is established that induction of the callus formation is determined by the concentration of growth regulators in the nutrient medium.

Метод культуры *in vitro* изолированных пыльников основан на феномене андроклинии – образования гаплоидного растения-регенеранта из клетки микроспор, развитие которых переключается с обычного гаметофитного пути на принципиально иной путь развития – спорофитный [3]. Однако, несмотря на длительную историю изучения андроклинии *in vitro* у голосеменных растений, данные о процессах каллусогенеза практически полностью отсутствуют. Также к настоящему моменту нет информации и о получении эмбриоидов или растений-регенерантов путем андроклинии из микроспор или пыльцевых зерен голосеменных.

Тем не менее, одноклеточные микроспоры являются исключительными объектами для изучения тотипотентности растительных клеток, процессов морфогенеза и регенерации растений на гаплоидном уровне [1].

Известно, что на переход мужских спорогенных клеток покрытосеменных растений с обычного для них гаметофитного пути на принципиально иной, спорофитный путь развития влияет целый ряд факторов, таких, например, как стадия развития эксплантов при введении их в культуру *in vitro*, предварительная стрессовая обработка эксплантов, состав питательной среды и др. [2]. До сих пор исследования по андроклинии *in vitro* у сосны сибирской не проводились. Целью настоящего исследования было выявить факторы, влияющих на процесс андроклинии.

Известно, что вылет пыльцы кедра сибирского в западно-саянской популяции происходит, как правило, в I–II декадах июня. При жаркой погоде он осуществляется в течение 2–3 дней, а при дождливой – 3–7 дней. Начало пыления зависит от погодных условий в начале вегетационного периода и варьирует по годам [4].



Рис. 1. Тетрады микроспор сосны сибирской. Масштаб 100 мкм

Для эксперимента по получению андроклинного каллуса микростробилы сосны сибирской собирались в начале июня до начала пыления: 2 и 8 июня. Микростробилы подвергали предварительной стрессовой обработке низкими положительными температурами (4–6 °С) в течение 1–4 суток. Всего в культуру было введено 200 микроспорофиллов на стадии тетрад или стадии формирования микроспор (рис. 1).

В условиях ламинар-бокса микроспорофиллы разрезались в продольном сечении

и помещались на питательную среду срезом либо вертикально целиком. В качестве питательной среды использовалась базовая среда LV [5] с пониженной в четыре раза концентрацией макроэлементов, дополненная сахарозой 30 г/л, гидролизатом казеина (0,5 г/л), мезоинозитом (0,100 г/л). В качестве регуляторов роста использовались 2,4-D (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота) и 6-БАП (6-бензиламинопурин). Первый вариант содержал 2,4-D с концентрацией 0,8 мг/л, во втором варианте была комбинация 2,4-D с концентрацией 1 мг/л и 6-БАП с концентрацией 0,5 мг/л. pH среды доводили до 5,7 до автоклавирования.

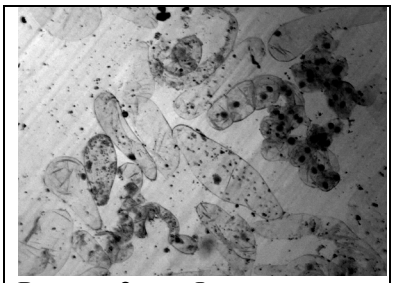


Рис. 2. Формирование андроклинного каллуса. Масштаб 100 мкм

Под действием ауксина и цитокинина происходило деление микроспоры на две и более равные клетки, заключенные в пределах оболочки микроспоры, в результате чего на 14–16 сутки формировался андроклинный каллус, но только у эксплантов, собранных 2 июня, в варианте с ауксинами и цитокининами (рис. 2). В варианте среды только с ауксинами каллусогенеза не происходило. У эксплантов, собранных на неделю позже, наблюдалось прорастание пыльцы. Каллусы сохраняли свою жизнеспособность в течение 6 месяцев.

Таким образом, на андроклинный эмбриогенез влияют стадия развития экспланта и комбинация фитогормонов в питательной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анапияев Б. Б.* Культура микроспор *Triticum aestivum* L. // Вестник Башкирского университета. 2001. № 2 (I). С. 103–105.
2. *Круглова Н.Н., Сельдимирова О.А., Зайцев Д.Ю., Катасонова А.А.* Биотехнологическая оценка экспланта для получения растений-регенерантов яровой пшеницы в культуре *in vitro* в целях адаптационной селекции в условиях Южного Урала // Известия Челябинского науч. центра. 2006. Вып. 2 (32). С. 94–98.
3. *Сельдимирова О.А., Круглова Н.Н.* Комплексный цитофизиологический подход к изучению андроклинного эмбриоидогенеза // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3.
4. *Эмбриология* хвойных / Третьякова И.Н. Новосибирск: Изд-во Наука, 1990. 157 с.
5. *Litvay J.D., Verma D.C., Johnson M.A.* Influence of loblolly pine (*Pinus taeda*) culture medium and its components on growth and somatic embryogenesis of the wild carrot (*Daucus carota*) // Plant Cell Reports. 1985. V. 4. P. 325–328.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор признателен профессору И.Н. Третьяковой за помощь в проведении исследований. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 18-44-243004 «Изучение влияния биологически активных пептидов растительного и микробного происхождения на рост и развитие хвойных *in vitro* в раннем онтогенезе».

УДК 551*796: 630*113: 574.42

ДИНАМИКА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ СОМКНУТЫХ ДРЕВОСТОЕВ В ГОРАХ ВОСТОЧНОГО САЯНА

А.С. ШУШПАНОВ[1, 2], И.А. ПЕТРОВ[1], С.Т. ИМ[1, 2, 3], В.И. ХАРУК[1, 3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (shushpanov.as@ksc.krasn.ru, petrov.ia@ ksc.krasn.ru, stim@ksc.krasn.ru, viharuk@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

На основе временного ряда космосъемки Landsat и данных *in situ* исследована динамика древостоев на верхнем пределе произрастания в горах Восточного Саяна. Оценены скорости продвижения верхней границы темнохвойных и лиственничных древостоев, кустарниковой растительности, а также динамика площади сомкнутых древостоев. Рассмотрена связь этих процессов с климатическими переменными и рельефом территории.

THE TREELINE ADVANCE AND STAND'S CLOSURE INCREASE IN THE EAST SAYAN

A.S. SHUSHPANOV[1, 2], I.A. PETROV[1], S.T. IM[1, 2, 3], V.I. KHARUK[1, 3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (shushpanov.as@ksc.krasn.ru, petrov.ia@ ksc.krasn.ru, stim@ksc.krasn.ru, viharuk@ksc.krasn.ru)
[2] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

The dynamics of tree stands at the tree line in the mountains of Eastern Sayan was studied based on satellite image time series (Landsat) and *in situ* data. The rate of the tree line advancement for dark-coniferous stands, larch stands, shrub vegetation were estimated. The dynamics of the area of closed stands were analyzed. In this paper, we consider the relationship of this phenomenon with climatic variables and the relief features.

Изменение климата представляет собой ведущий фактор динамики экосистем бореальной зоны. Имеющиеся наблюдения указывают на стимулирующее воздействие потепления в высокогорьях на радиальный прирост деревьев, сомкнутость древостоев и продвижение древесной растительности в экотон альпийской лесотундры [5–8, 10].

Цель работы: исследование динамики верхней границы и площади сомкнутых древостоев в высокогорьях Восточного Саяна (Идарское Белогорье: 54°22′с. ш., 95°30′ в. д.). Площадь объекта исследования ≈1,5 млн га. (рис. 1.).

Задачами исследования было оценить:

1. Пространственно-временную динамику площади и альпийской границы древостоев (*Pinus sibirica* du Tour, *Abies sibirica* Ledeb, *Larix sibirica* Ledeb), а также кустарников (*Betula sp., Salix* sp.) в высокогорьях и горной лесотундре.
2. Связь с эколого-климатическими переменными.
3. Модифицирующее влияние рельефа (высота н. у. м., экспозиция, крутизна склона).

В работе использованы материалы дистанционного зондирования (ДЗ), данные дендрохронологического анализа и наземных обследований. Материалы ДЗ включали снимки среднего (Landsat, 30 м) и высокого (WorldView, GeoEye; 0,41–0,46 м) разрешения. Картосхемы генерировались на основе анализа летних снимков 1989 и 2018 г. Верификация картосхем выполнялась по снимкам высокого разрешения и наземным данным. Для ГИС-анализа и топографической нормализации использовалась ЦМР (SRTMGL1, 30 м) [9]. Гари были исключены из анализа. Данные о температуре, осадках, индексе сухости SPEI получены из баз данных [2, 3]. Классификация

проводилась методом ISODATA. Дендрохронологический анализ велся с применением стандартных дендрохронологических методик [1, 4]. Качество перекрестной датировки оценивалось с помощью программы COFECHA [4]. Индексирование хронологий проводилось с помощью программы ARSTAN методом отрицательной экспоненциальной кривой или линейной регрессии [1].

Результаты. Проведенная классификация позволила выделить следующие классы: темнохвойные и лиственничные древостои, кустарниковая растительность и фоновая территория (каменистые поверхности, водоемы). Точность классификации составила 77–85 %; к-статистика: 0,7–0,8. Выявлены достоверно значимые изменения сомкнутых древостоев, связанные с продвижением верхней границы леса на высотах более 900 м. Площадь сомкнутых древостоев в 1989 и 2018 г. составила 448,3 тыс. га и 505 тыс. га. соответственно. Общее увеличение площади сомкнутых древостоев составило 57 тыс. га (+12,7 %).

Рассчитанные значения медиан высот в 1989 и 2018 г. были использованы для оценки продвижения границы сомкнутых древостоев и кустарников. Для темнохвойных и лиственничных древостоев продвижение по высоте составило 18±0,5 м (0,6±0,05 м/год) и 16±0,5 м (0,6±0,05 м/год) соответственно (рис. 1). Для кустарников – 15±0,5 м (0,5±0,05 м/год) (рис. 1). Возрастание площади темнохвойных наблюдалось преимущественно на склонах южной экспозиции.

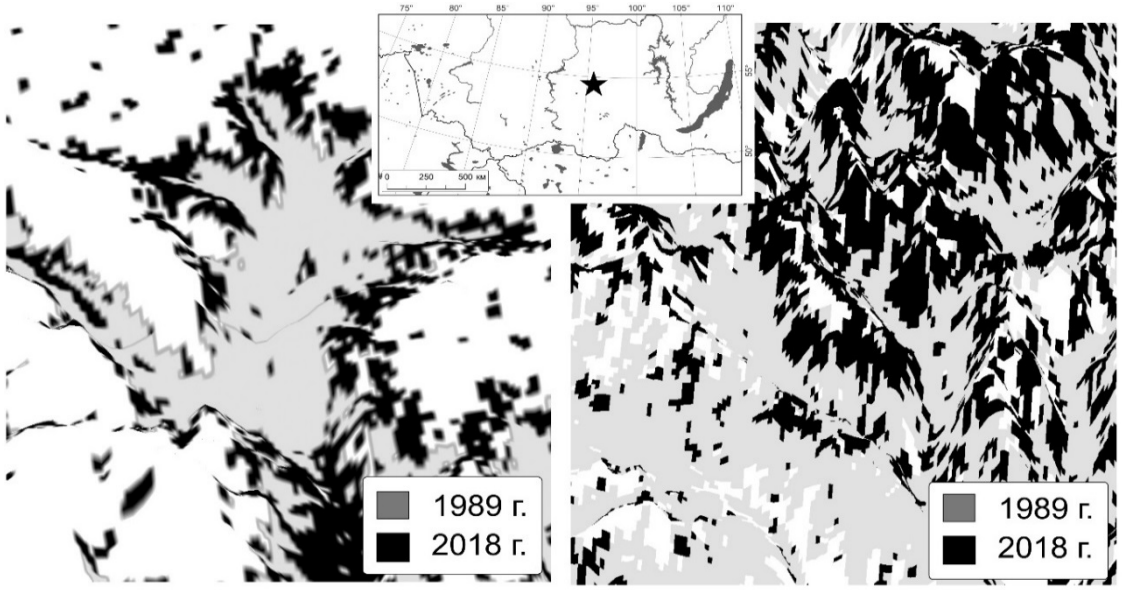


Рис. 1. Увеличение площади сомкнутых темнохвойных древостоев (слева) и кустарников (справа) за период 1989–2018 гг.

Установлена связь между возрастом деревьев кедра и высотой их произрастания над уровнем моря (R^2 = 0,62, рис. 3), что указывает на миграцию древесной растительности по градиенту высоты. Скорость продвижения оценивается величиной 0,6–1 м/год.

Полученные результаты подтверждаются данными дендрохронологического анализа, указывающими на значительный возрастающий тренд индекса прироста (рис. 2).

Наблюдаются значимые корреляции между индексом прироста *Larix sibirica*, *Abies sibirica* и *Pinus sibirica* и температурой в начале вегетационного периода (май – июнь, рис. 4).

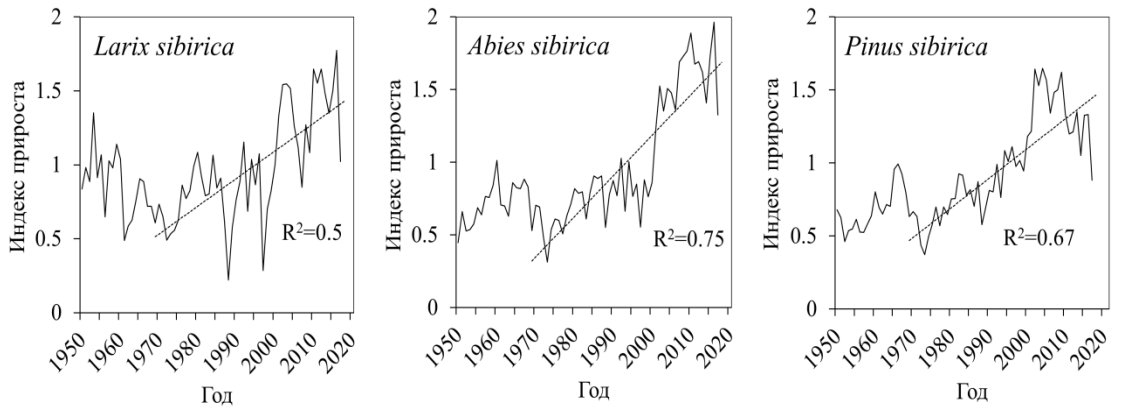


Рис. 2. Стандартизированные хронологии *Larix sibirica*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica*. Тренды значимы на уровне $p<0,05$

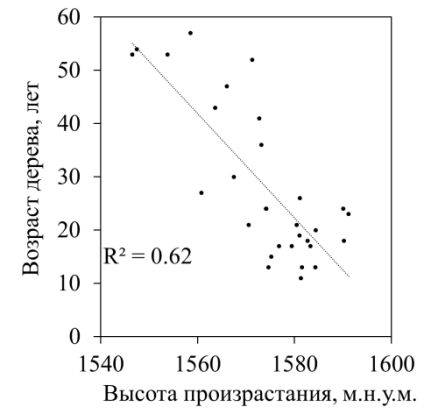


Рис. 3. Зависимость возраста деревьев *Pinus sibirica* от высоты произрастания в экотоне горной лесотундры

Выводы. 1. Изменения климата повлекли возрастание сомкнутости и продвижение альпийской границы древостоев и кустарниковой растительности по градиенту высоты в горах Восточного Саяна.

2. Средняя скорость продвижения границы сомкнутых древостоев составляет ~0,6±0,05 м/год.

3. В экотоне альпийской лесотундры в последние десятилетия наблюдается климатически индуцированное увеличение радиального прироста Larix *sibirica, Abies sibirica, Pinus sibirica.*

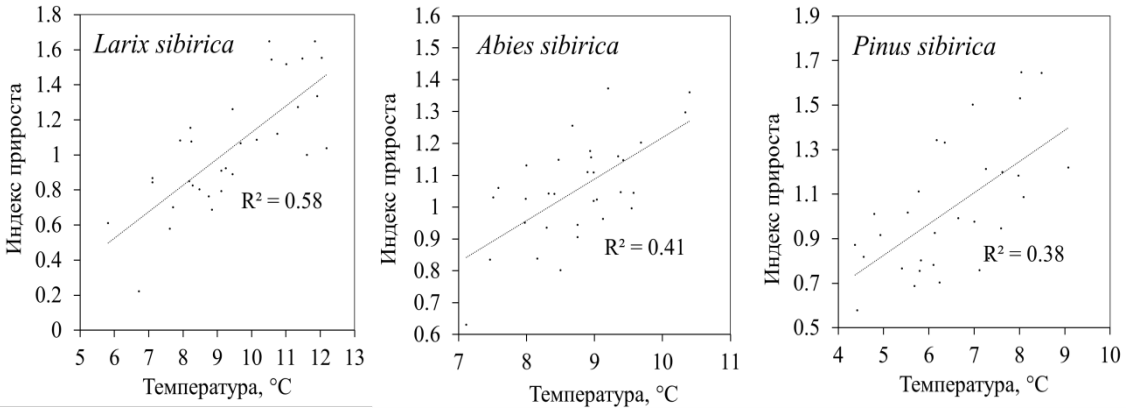


Рис. 4. Зависимость индекса прироста *Larix sibirica*, *Abies sibirica*, *Pinus sibirica* от температуры воздуха

ЛИТЕРАТУРА

1. *Cook E.R., Holmes R.L.* User's manual for program Arstan / Holmes R.L., Adams R.K., Fritts H.C., editors. Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1986. Pp. 50–65.

2. *CRU TS* 4.03 dataset. [Электронный ресурс.] URL: https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.03/.
3. *Higher* Council for Scientific Research. [Электронный ресурс.] URL: http://sac.csic.es/spei.
4. *Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-ring Bulletin, 1983. 44: 69–75.
5. *Kharuk V., Ranson K., Im S., Oskorbin P., Dvinskaya M., Ovchinnikov D.* Tree-Line Structure and Dynamics at the Northern Limit of the Larch Forest: Anabar Plateau, Siberia, Russia. ARCT ANTARCT ALP RES, 2013. 45 (4): 526–537.
6. *Kharuk V.I., Im S.T., Dvinskaya M.L.* Forest-tundra ecotone response to climate change in the Western Sayan Mountains, Siberia // Scandin. J. Forest Research. 2010b. Pp. 1–10.
7. *Kharuk V.I., Ranson K.J., Im S.T. & Dvinskaya M.L. Pinus sibirica* and *Larix sibirica* response to climate change in southern Siberian alpine foresttundra ecotone // Scandinavian Journal of Forest Research. 2010c. 24. 130139.
8. *Kharuk V.I., Ranson K.J., Im S.T. & Vdovin A.S.* Spatial distribution and temporal dynamics of high elevation forest stands in southern Siberia // Global Ecology and Biogeography. 2010a. 19 (6): 822–830.
9. *Riano D., Chuvieco E., Salas J. and Aguado I.* Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2003. 41 (5): 1056–1061.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-05-00432 и 18-45-240003).

УДК 581.5;528.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ НОРМАТИВОВ ОЦЕНКИ УГЛЕРОДНОГО БЮДЖЕТА ЛЕСОВ РОССИИ

Д.Г. ЩЕПАЩЕНКО[1, 2], А.З. ШВИДЕНКО[1, 3], Е. МОЛЧАНОВА[4]

[1] Международный институт прикладного системного анализа, Лаксенбург, Австрия (schepd@iiasa.ac.at);
[2] Факультет лесного хозяйства, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Московская область, Россия
[3] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (shvidenk@iiasa.ac.at)
[4] Университет Кентербери, Крастчерч, Новая Зеландия (elena.moltchanova@canterbury.ac.nz)

Рассматриваются результаты моделирования структуры фитомассы лесов Российской Федерации.

REFINING OF THE SYSTEM OF STANDARDS FOR EVALUATING THE CARBON BUDGET OF RUSSIAN FORESTS

D.G. SCHEPASCHENKO[1, 2], A.Z. SHVIDENKO[1, 3], E. MOLCHANOVA[4]

[1] International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria (schepd@iiasa.ac.at);
[2] Forestry Faculty, N.E. Bauman Moscow State Technical University, Mytischi, Moscow Region, Russia
[3] V.N. Sukachev Institute of Forest SBRASc, Krasnoyarsk, Russia (shvidenk@iiasa.ac.at)
[4] University of Canterbury, Christchurch 8041, New Zealand (elena.moltchanova@canterbury.ac.nz)

We used the most comprehensive database of sample plots available to build a set of multi-dimensional regression models that describe the proportion of different live biomass fractions (i.e., the stem, branches, foliage, roots) of forest stands as a function of average stand age, density (relative stocking) and site quality for forests of the major tree species of northern Eurasia.

Структура фитомассы является важной характеристикой лесов. Показатели структуры фитомассы (соотношение отдельных фракций фитомассы, конверсионные коэффициенты) используются в оценке углеродного бюджета лесов, мониторинге динамики лесов, моделировании фитомассы, оптимального использования и управления лесами. В этой работе мы использовали базу данных пробных площадей (около 10 тыс.), где структура фитомассы измерялась деструктивными методами [3] для построения многомерных регрессионных моделей, которые описывают различные фракции фитомассы (ствол, ветви, зеленые части и корни) как функцию от возраста, полноты и бонитета древостоев основных лесообразующих пород России. Для оценки неопределенности и построения доверительных интервалов был использован бутстрап. Средняя ошибка между данными измерений и модельными оценками составила -1,0 % для конверсионного коэффициента BCEF, -0,6 % для BEF и 11,6 % для соотношения надземной и подземной частей.

Полученные регрессионные модели были применены к агрегированным данным государственного лесного регистра и к карте лесного покрова [1, 2] для получения пространственно распределенных оценок конверсионных коэффициентов и доли подземной фитомассы для российских лесов. Уравнения и карты опубликованы в работе [4] и могут быть использованы для преобразования запасов древостоев в фитомассу отдельных фракций. Преимущество вновь полученных результатов заключается в использовании всех доступных измерений фитомассы и оценке неопределенностей. Полученные конверсионные коэффициенты могут использоваться в различных приложениях, в частности, для использования в национальной отчетности для UNFCCC (Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата) и FAO FRA (оценка лесных ресурсов Продовольственной и

сельскохозяйственной организации Организации Объединенных Наций).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Щепащенко Д.Г., Швиденко А.З., Лесив М.Ю., Онтиков П.В., Щепащенко М.В., Кракснер Ф.* Площадь лесов России и ее динамика на основе синтеза продуктов дистанционного зондирования // Лесоведение. 2015. № 3. С. 163–171.
2. *Schepaschenko D., McCallum I., Shvidenko A., Fritz S.; Kraxner F., Obersteiner M.* A new hybrid land cover dataset for Russia: a methodology for integrating statistics, remote sensing and in situ information // Journal of Land Use Science. 2011. V. 6 (4). P. 245–259.
3. *Schepaschenko D.G., Shvidenko A.Z., Usoltsev V., Lakyda P., Luo Y., Vasylyshyn R., Lakyda I., Myklush Y., See L., McCallum I., Fritz S., Kraxner F., Obersteiner M.* A dataset of forest biomass structure for Eurasia // Scientific Data. 2017. V. 4. Art: 170070. DOI: 10.1038/sdata.2017.70.
4. *Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A., Blyshchyk V., Dmitriev E., Martynenko O., See L., Kraxner F.* Improved Estimates of Biomass Expansion Factors for Russian Forests // Forests. 2018. V. 9 (6). Art: 312. DOI: 10.3390/f9060312.

УДК: 575.174.015.3:582.475.2

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ЛОКУСА mh 44 У *PICEA OBOVATA* LEDEB.

А.К. ЭКАРТ[1], В.Л. СЕМЕРИКОВ[2], А.Я. ЛАРИОНОВА[1], А.Н. КРАВЧЕНКО[1], С.А. СЕМЕРИКОВА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (aekart@yandex.ru)
[2] Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия (semerikov@ipae.uran.ru)

Изучено разнообразие митохондриального локуса mh44 в 24 природных популяциях ели сибирской. Идентифицировано 13 аллельных вариантов, различающихся по числу повторов 32-нуклеотидного минисателлитного мотива. Рассчитаны основные параметры изменчивости.

THE VARIABILITY OF THE MITOCHONDRIAL LOCUS mh 44 IN *PICEA OBOVATA*

A.K. EKART[1], V.L. SEMERIKOV[2], A.Ya. LARIONOVA[1], A.N. KRAVCHENKO[1], S.A. SEMERIKOVA[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (aekart@yandex.ru)
[2] Institute of Plant and Animal Ecology UB RASc, Ekaterinburg, Russia (semerikov@ipae.uran.ru)

The variability of the mitochondrial locus mh44 was studied in 24 natural populations of Siberian spruce. 13 allelic variants that differ in the number of repetitions of the 32 nucleotide minisatellite motif were identified. The main parameters of variability were calculated.

С целью выявления полиморфных маркеров митохондриальной ДНК, пригодных для исследования генетического разнообразия и филогеографической структуры ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), в 24 природных популяциях этого вида изучена изменчивость митохондриального локуса mh44, описанного ранее [1] у *Picea abies* L. Амплификация проводилась с парой праймеров F:GTCCCAGAACTCACAGCTTTA и R:TTCACTTGATACTCACCCCC. Разделение продуктов амплификации осуществлялось в 2%-м агарозном геле. Выявленные аллельные варианты этого локуса были ресеквенированы с этой же парой праймеров. Обнаружено 13 аллелей, различающихся по числу повторов 32-нуклеотидного минисателлитного мотива. В соответствии с обозначением аллельных вариантов по Bastien et al. [1] изменчивость локуса mh44 у ели сибирской может быть представлена как $(PaTR1)_{1\text{-}13}+(PaTR2b)_1$. Число аллелей в изученных популяциях варьирует от 1 до 11, составляя в среднем 5,54±0,69 (табл. 1). Наиболее распространенным оказался аллель, представленный одной копией мотива. Он обнаружен в 23 из 24 включенных в исследование популяций ели сибирской с частотой, варьирующей в пределах от 3,3 % до 100 %, со средним значением, равным 53 %. Средние частоты остальных аллелей не превышали 10 %, хотя в отдельных популяциях встречаемость некоторых из них достигала значительных величин. Так, в изолированной популяции с острова Ольхон частота аллеля, представленного шестью копиями мотива, составила 82 %, а в популяции Елбань частота аллеля с тремя копиями мотива – 68 %. В популяции Азас наиболее высокую частоту (45 %) среди выявленных аллелей имел аллель с восемью копиями мотива. Три аллеля (11, 12, 13) с наибольшим числом копий мотива относятся к категории редких. Уровень несмещенного аллельного разнообразия uh в изученных популяциях ели сибирской варьирует от 0 в популяциях Хамар-Дабан, Убукун, Якутск, Магадан, Кабанск, в которых локус mh44 мономорфен, до 0,890 в популяции Талая из Амурской области. Высокое аллельное разнообразие, близкое к максимальному, наблюдается в популяциях Малый Мамай, Косая Степь, Ильинка, Красноярово (uh равно 0,814, 0,872, 0,880 и 0,880 соответственно). В нескольких популяциях, в частности, в популяциях

Кочечум, Ергаки, Туруханск из Красноярского края, а также в популяции с острова Ольхон аллельное разнообразие локуса mh44 было низким по сравнению с другими включенными в исследование популяциями ели. Значение uh в этих популяциях составило соответственно 0,133, 0,265, 0,310 и 0,339. В среднем же ($uh_{ср}$ = 0,497) изученные популяции ели сибирской обнаруживают достаточно высокий уровень аллельного разнообразия по исследованному локусу митохондриальной ДНК.

Таблица 1. Местоположение и параметры изменчивости популяций ели сибирской, исследованных с помощью митохондриального локуса mh44

Популяция, регион	с. ш. / в. д.	n	N_a	h	uh
Ильинка, Республика Алтай	51°22′ / 85°10′	30	9	0,851	0,880
Елбань, Новосибирская область	54°18′ / 84°37′	28	3	0,457	0,474
Майский, Хакасия	53°36′ / 90°00′	29	11	0,756	0,783
Азас, Тува	52°25′ / 96°33′	29	9	0,756	0,783
Ергаки, Красноярский край	52°46′ / 93°23′	28	3	0,255	0,265
Туруханск, Красноярский край	65°47′ / 87°58′	30	6	0,300	0,310
Тура, Эвенкия	64°18′ / 100°25′	30	5	0,742	0,768
Тунгусский з-к, Эвенкия	60°37′ / 101°39′	30	6	0,551	0,570
Ванавара, Эвенкия	60°21′ / 102°16′	30	9	0,616	0,637
Кочечум, Эвенкия	64°19′ / 100°14′	29	2	0,128	0,133
Ольхон, Иркутская область	53°15′ / 107°43′	27	5	0,326	0,339
Косая Степь, Иркутская область	52°51′ / 106°04′	29	9	0,842	0,872
Тулюшка, Иркутская область	54°27′ / 101°12′	25	3	0,486	0,507
Выдрино, Бурятия	51°26′ / 104°43′	58	9	0,530	0,539
Малый Мамай, Бурятия	51°27′ / 104°48′	30	9	0,787	0,814
Убукун, Бурятия	51°28′ / 106°43′	30	1	0,000	0,000
Хамар-Дабан, Бурятия	51°32′ / 105°52′	27	1	0,000	0,000
Красноярово, Бурятия	51°51′ / 107°16′	30	9	0,851	0,880
Кабанск, Бурятия	51°59′ / 106°32′	25	1	0,000	0,000
Баргузин, Бурятия	54°35′ / 110°47′	30	5	0,689	0,713
Богд-Уул, Монголия	47°48′ / 106°51′	30	7	0,747	0,772
Якутск, Якутия	62°02′ / 129°44′	30	1	0,000	0,000
Талая, Амурская область	49°47′ / 130°14′	30	9	0,860	0,890
Магадан, Магаданская область	59°39′ / 153°04′	26	1	0,000	0,000
Среднее		30 (1,26)	5,54 (0,69)	0,480 (0,006)	0,497 (0,068)

Примечание. n – размер выборки, N_a – число гаплотипов, h – аллельное разнообразие, uh – несмещенное аллельное разнообразие.

Анализ иерархической структуры изменчивости AMOVA (внутри популяций, между популяциями) показал, что 25 % аллельного разнообразия локуса mh44 (PhiPT=0,253, P=0,01), выявленного при исследовании 24 популяций ели сибирской, распределяется между популяциями, а остальные 75 % – внутри популяций. Полученные данные свидетельствуют о достаточно высокой степени дифференциации популяций ели по данному маркеру мтДНК. Наглядно иллюстрирует установленный уровень межпопуляционной дифференциации ели сибирской на исследованной части ареала ординация популяций на плоскости двух координат, полученная по данным PCA анализа матрицы парных значений индексов PhiPT, вычисленных между популяциями по частотам гаплотипов. На рис. 1 видно, что многие из включенных в исследование популяций ели сибирской пространственно удалены друг от друга. Значительно обособлена от большинства включенных в исследование популяций популяция ели с о. Ольхон, в которой доминирует (82 %) аллель 6, имеющий достаточно низкую

частоту встречаемости в остальных популяциях. Максимальный уровень дифференциации наблюдается между этой популяцией и популяциями Якутск и Убукун. Следует, однако, отметить, что ординация популяций методом главных координат на основе парных значений PhiPT не выявила каких-либо географических закономерностей в распределении аллелей в пределах изученной части ареала ели сибирской.

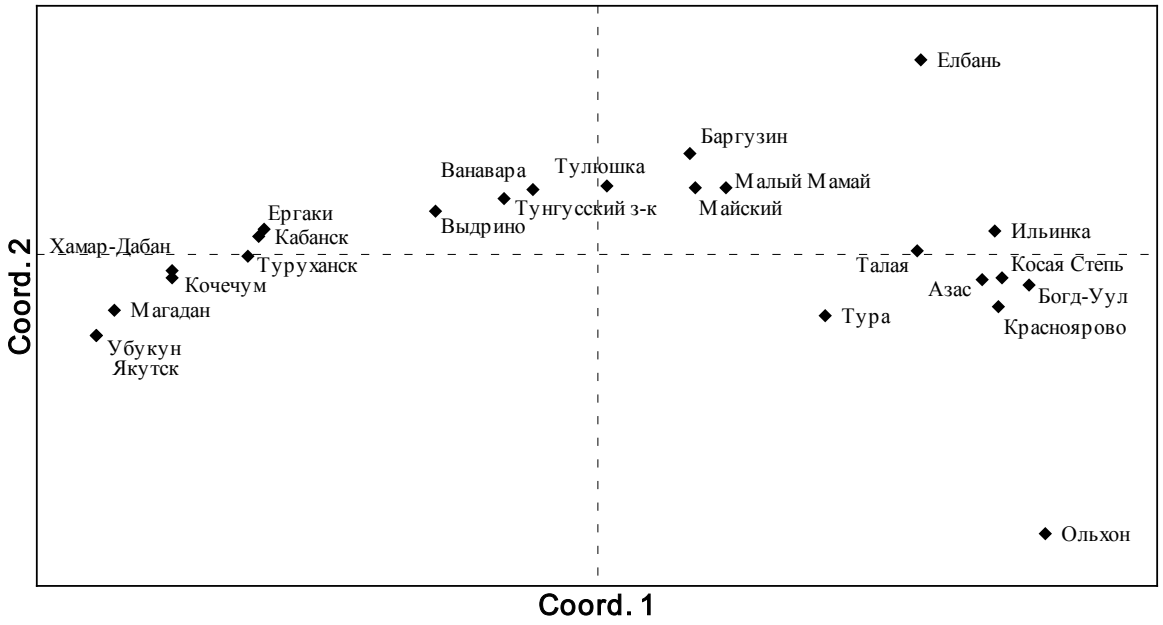


Рис. 1. Ординация изученных популяций ели сибирской на плоскости двух координат по данным PCA-анализа матрицы парных значений индексов PhiPT

В связи с этим исследованный нами локус mh44 оказался непригодным для филогеографических исследований этого вида. Тем не менее благодаря своей высокой изменчивости и межпопуляционной дифференциации он может быть полезен в совокупности с другими маркерами мтДНК для исследования пространственной генетической структуры на внутри- и межпопуляционных уровнях, выявления потомства материнских деревьев и решения ряда других задач популяционной генетики, основанных на применении молекулярно-генетических маркеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bastien D., Favre J.M.,·Collignon A.M. et al.* Characterization of a mosaic minisatellite locus in the mitochondrial DNA of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] // Theor. Appl. Genet. 2003. 107: 574–580.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена по базовому проекту № АААА-А17-117101820003-0 при частичной поддержке РФФИ, проект № 13-04-00777.

GREENHOUSE GAS CONCENTRATIONS, ISOTOPIC COMPOSITION, AND CORRESPONDING GAS FLUXES ALONG THE SIBERIAN RIVER, YENISEI.

R.M.W. AMON[1], A. ANIS[1], S. MOLODTSOV[1], A. PROKUSHKIN[2], S. YVON-LEWIS[1], T. LI[1], A. PANOV[2], G. GUGGENBERGER[3], I. SOLNYSHKIN[2]

[1]Department of Marine Sciences and Oceanography, Texas A&M University, USA
[2]Sukachev Institute of Forests, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia
[3]Institute of Soil Science, Leibniz Universität Hannover, Germany

The watersheds of the large Siberian rivers store large amounts of organic carbon in soils and vegetation (1000-1300 PgC) but our understanding of lateral transport of carbon from these watersheds, and specifically the sources of greenhouse gas evasion from the extensive river networks has not been determined. Dissolved organic carbon (DOC) data collected in summer 2015 and 2016 indicate large differences in upstream river DOC during freshet relative to the downstream river sampling sites, suggesting significant losses of DOC between DOC mobilization in the watershed and discharge to the Arctic Ocean. Significant losses of terrigenous DOC are also reflected in a seasonal depletion of stable carbon isotope values in river DIC. We believe these losses could amount to >100TgC per year on a pan-Arctic scale, which would reduce the current CO_2 sink, postulated for boreal forests, by ~30%.

In 2016 we carried out a pilot study to measure the concentration, stable carbon isotope composition, and water-atmosphere fluxes of CO_2 and CH_4 on a 1800 km stretch in the Yenisei river using a 21m ship. During this project we tested a number of new approaches to (a) measure CO_2 and CH_4 continuously on a moving platform using a Cavity Ring Down Spectrometer (CRDS) connected to a homemade underway system consisting of a well pump (mounted to the side of the ship in 1m depth), a Weiss-type equilibrator, and sample gas prep assembly and (b) to directly measure the gas exchange velocity (k) by estimating turbulence mixing in near-surface water.

This pilot study served as proof of concept that it is possible to directly determine water-air CO_2 and CH_4 exchange in high resolution over hundreds of kilometers in a matter of days. The study produced very promising data, both in terms of continuously measuring the CO_2 and CH_4 and their isotopic composition in surface waters and air, as well as directly determining the gas exchange coefficient k (see presentation by Sergey Molodtsov) and also taught us where our approach could be improved. The continuous GHG measurements showed remarkable variability across the river channel with methane typically being elevated near the slow-flowing western river bank, as well as large scale patterns that were reproducible on the downstream and upstream sections of the cruise. The isotope composition confirmed the role of photosynthesis and respiration of allochthonous DOC for CO_2 fluxes as well as the existence of multiple sources (biogenic and thermogenic) and/or biochemical pathways (acetoclastic, hydrogenotrophic methanogenesis and methane oxidation) for methane in the Yenisei River.

Based on the k values derived from the GOTM model and the CRDS-derived concentration gradients between surface waters and the overlying atmosphere we estimated a total CO_2 flux of 60 Gg C/month, and a CH_4 flux of 2.5 Gg C/month from the Yenisei main stem during summer. This compares to a DOC flux of 268 Gg C/month and a total DIC flux of 510 Gg C/month during late summer at the downstream sampling site in the Yenisei River. The results from the pilot study and the preliminary freshet data from the upstream tributaries on dissolved organic and inorganic carbon concentrations, biomarker and stable isotope composition demonstrate the need to quantify lateral carbon fluxes (gas exchange and riverine fluxes of DOC, POC, DIC) in the upstream reaches (first to third order streams) and during the early phase of the spring freshet. Covering the spring freshet well, both spatially and

temporarily, is critical to adequately quantify CO_2 and CH_4 evasion and annual lateral fluxes of carbon in these systems. The seasonal patterns in the carbon isotopic composition of DIC indicate a strong effect of gas evasion with a strong isotopic fractionation towards more enriched values and we hope to use our directly determined flux estimates to quantify the role of gas evasion in order to calculate the contribution of terrestrial DOM to the DIC pool along the river continuum.

EVALUATION OF ACHIEVEMENTS IN NATURE-BASED FIRE MANAGEMENT AND DEVELOPMENT OF FUTURE COOPERATIVE APPROACHES AT THE SCIENCE-POLICY INTERFACE IN SIBERIA AND ADJOINING REGIONS OF CENTRAL ASIA

J.G. GOLDAMMER[1]

Global Fire Monitoring Center (GFMC), Max Planck Institute for Chemistry and University of Freiburg, Freiburg, Germany (johann.goldammer@fire.uni-freiburg.de)

Scientific-technical round tables and a regional congress conducted in Krasnoyarsk and Novosibirsk in 2012 and 2013 and the All-Russian Scientific Conference "Intensification of the Russian Forestry: Problems and Innovative Solutions" held at the Sukachev Institute of Forest in 2016 highlighted the need for targeted measures in landscape fire management of temperate-boreal Eurasia. It is evident that

- The ecology of forests and fire has been well investigated by the science community.
- The influence of humans on fire regimes of forests and surrounding landscapes is well understood.
- The current and future impacts of climate change on forests and fire regimes are evident.
- Agencies responsible for sustainable silviculture, forest economics and disaster risk reduction have developed appropriate policies and response strategies

However, the rich scientific and technical expertise, which has been developed by the community of fire scientists, is not always applied due to the lack of institutional capacities. The accelerating impacts of climate change on forest and non-forest landscapes of temperate-boreal Eurasia reveal the need for action to respond to the resulting changes of ecosystems and their vulnerability and resilience to fire.

The recommendation of the most significant expert round tables, conferences and political consultations are pointing into the right direction – at least from the point of view of fire management. Now it is timely that scientists and practitioners from authorities responsible for forest planning, silviculture and innovative forest management are coming together and develop solutions that are in line with the World Climate Treaty and the responsibilities of all nations to develop pragmatic and science-based solutions for advanced forest and fire management.

A problem-oriented round table for scientists and administrations "Evaluation of achievements in nature-based fire management and development of future cooperative approaches at the science-policy interface in Siberia and adjoining regions of Central Asia" will be held as a Side Event to the Conference. The Side Event will consist of several brief presentations from representatives of the scientific community who are working very closely with the community of practitioners and policy makers, and representatives from administrations who are cooperating with and receiving scientific-technical advisory support from scientific institutions.

UDC 630*

HOW TIME SINCE THE LAST FOREST FIRE AFFECTS THE SOIL CO_2 AND CH_4 EMISSIONS IN SIBERIAN BOREAL FORESTS

K. KÖSTER[1], E. KÖSTER[1], F. BERNINGER[2] and J. PUMPANEN[3]

[1]Department ofForest Sciences, University of Helsinki, PO Box 27 (Latokartanonkaari 7) FI-00014 Helsinki, Finland.
[2]Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland, PL 111, FI-80101 Joensuu, Finland.
[3]Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland, PL 1627, FI-70211 Kuopio, Finland.

SUMMARY

We have studied the long-term effects of fire on the fluxes of two main carbon based greenhouse gasses (CO_2 and CH_4) in Siberian boreal coniferous forest areas with underlying permafrost. Our results confirmed that the fire affected significantly fluxes of CO_2 and CH_4, and the impact of fire are long-lasting on these areas (even more than 50 years).

INTRODUCTION

Russian forests comprise about 70% of the world's boreal forests [1]. There is more than 520 million ha of boreal forests in Russia containing about 119 Pg carbon (C) of which about 75 % is stored in soils and forest floor material [1]. The boreal forest zone is widely overlapping with the area of discontinuous permafrost [2].

In boreal forest fire is a critical disturbance, and every year large areas are burned [3]. It is estimated that around 5-15 million ha of forests burn annually in boreal biome [1], and a great majority of that (according to some estimates even about 12 million ha) is burning in Russia [4]. In the areas with permafrost base, severe wildfires accelerate the degradation of permafrost, and this in turn has great influence on the further succession of the areas [5], as well as on the C balance of these ecosystems [6].

Fires are strongly influencing the soil C dynamics, and thus have an important impact also on GHG fluxes and emission rates [7, 8]. Fire changes soil physical and chemical properties, respiration and decomposition processes, and soil moisture balance, and these in turn affect the soil GHG fluxes for a long period of time after the fire [9, 8]. In permafrost areas, the effect of fire is even more extended, as combustion is removing the insulating organic layer and causing a decrease in surface albedo during the summer which in turn increases the soil thermal conductivity and allows permafrost to thaw [10].

Although the effect of fire on permafrost forest areas has evoked the interest of scientists for a rather long period of time, the changes in the fluxes of different GHGs caused by forest fire have received less attention. In this study, we investigated a long-term chronosequence of forest fires in boreal coniferous forests with permafrost base in the central part of Siberia, Russian Federation. Areas that had differing time periods since the last forest fire, and with comparable ecological conditions, were chosen for testing the long term impact of fire on CO_2 and CH_4 fluxes in permafrost areas.

METHODS

The study was conducted close to Tura (Evenkian district of Krasnoyarsky kray, Russian Federation) (64°16´N, 100°13´E), in the northern part of the central Siberian plateau. Study sites are located near the Nizhnyaya Tunguska River and its tributary Kochechum River, both belonging to the Yenisei River watershed. In the summer of 2016, four different study areas each with a different time since the last stand replacing forest fire (age class) were established - areas with last forest fire in 2015, 1993 and 1960, and the fourth area was a

control which had no fire for at least 100 years. At each age class area we established three 150 m-long-lines with three sample plots (400 m^2) along each line at 50 meter intervals. The lines were spaced by at least a few hundred meters from each other, and were set at least 150 m from the nearest road to avoid the disturbance on the snow cover and consequently on the permafrost of the area. Lines were spaced in a way that the effect of slope was minimal and soil conditions were similar. Ground vegetation cover, biomass and species composition, living and dead tree biomasses were measured. One soil pit was excavated in the middle of each sample plot, and soil samples (soil C and nitrogen (N) concentration, pH, and texture analyses) were taken from the litter and humus layer, and if possible, from the mineral soil at 0.05 m, 0.30 m, 0.50 m depths and as close to the permafrost as possible, from three different walls of the soil pit. The static chamber method was employed for measurements of CO_2 and CH_4 fluxes between the soil and the atmosphere. Gas flux measurements were done during the summer of 2016 on metal collars (on 18 collars per fire age class with diameter 0.21 m and height 0.05 m) installed to the soil before measurements. The lower edge of the collar was placed at 0.02 m depth in the mor layer above the rooting zone to avoid damaging the roots. The vegetation inside the chamber was not damaged or removed during the measurements. Soil temperature and moisture were measured close to each chamber during the flux measurements.

Cylindrical chamber (h=0.24 m and Ø=0.20 m) covered with aluminum foil (to prevent photosynthesis), was used in the flux measurements. For the air sampling the chamber was equipped with an outlet tube that could be closed and opened with a 3-way valve. The CO_2 and CH_4 gas samples were collected from the chamber headspace by connecting a 50 ml polypropylene syringe before the chamber placement (0 min) and 1, 3, 5, 10 and 20 minutes after the chamber was placed on the collar and injected immediately into glass vials (12 ml). The samples were analyzed by gas chromatograph.

RESULTS

Our study revealed that there was significant decrease in soil CO_2 efflux shortly after the fire, but emissions continued to increase till being highest at the area burned in 1960. So we suppose that the fluxes of CO_2 were not stabilized even more than 50 years after the fire. Main factors driving the CO_2 fluxes were the pH of the top layer of the soil, biomass of *Betula* trees and the thickness of soil organic layer.

All studied areas acted as sinks of CH_4, and the highest influx was measured at the most recent burning area. Based on received result we can claim, that the effect of fire on CH_4 fluxes was not significant in Siberian boreal forest with the permafrost base. Significant factors explaining the CH_4 fluxes were pH of the mineral soil, biomass of vascular plants and C concentration of the soil.

Our results confirmed that the fire affected significantly fluxes of CO_2 and CH_4, and the impact of fire lasted much longer than expected based on previous studies.

ACKNOWLEDGEMENTS. This study was supported by the Academy of Finland (Projects No. 286685, 294600, 307222)

REFERENCES

1. *Kasischke E.S., Stocks J.B.* (Eds.). Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest, Ecological Studies 138, Springer-Verlag, New York, 2000, 461 pp.
2. *Osterkamp T.E., Viereck L., Shur Y., Jorgenson M.T., Racine C., Doile A., Boone R.D.* Observations of thermokarst and its impact on boreal forest in Alaska, USA. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 2000, 32: 303–315.
3. *Kim Y., Tanaka N.* Effect of forest fire on the fluxes of CO_2, CH_4 and N_2O in boreal forest soils, interior Alaska. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2003, 108: FFR 10-11-FFR 10-12.

4. *Ponomarev E.I., Kharuk V.I., Ranson K.J.* Wildfires dynamics in Siberian larch forests. Forests, 2016, 7: 125.
5. *Taş N., Prestat E., McFarland J.W., Wickland K.P., Knight R., Berhe A.A., Jorgenson T., Waldrop M.P., Jansson J.K.* Impact of fire on active layer and permafrost microbial communities and metagenomes in an upland Alaskan boreal forest. The ISME Journal, 2014, 8:1904-1919.
6. *Takakai F., Desyatkin A.R., Lopez C.M.L., Fedorov A.N., Desyatkin R.V., Hatano R.* Influence of forest disturbance on CO2, CH4 and N2O fluxes from larch forest soil in the permafrost taiga region of eastern Siberia. Soil Science and Plant Nutrition, 2008, 54: 938-949.
7. *Sullivan B.W., Kolb T.E., Hart S.C., Kaye J.P., Hungate B.A., Dore S., Montes-Helu M.* Wildfire reduces carbon dioxide efflux and increases methane uptake in ponderosa pine forest soils of southwestern USA. Biogeochemistry, 2011, 104: 251–265.
8. *Köster E., Köster K., Berninger F., Aaltonen H., Zhou X., Pumpanen J.* Carbon dioxide, methane and nitrous oxide fluxes from a fire chronosequence in subarctic boreal forest of Canada. Science of the Total Environment, 2017, 601–602: 895–905.
9. *Hart S.C., DeLuca T.H., Newman G.S., MacKenzie M.D., Boyle S.I.* Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils. Forest Ecology and Management, 2005, 220: 166–184.
10. *Yoshikawa K., Bolton W.R., Romanovsky V.E., Fukuda M., Hinzman L.D.* Impacts of wildfire on the permafrost in the boreal forests of Interior Alaska. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2003, 108: FFR4-1–FFR4-14.

UDC XXX

NEGATIVE EMISSIONS - THE CHALLENGE OF INCREASING THE CARBON SINK THROUGH AFFORESTATION, REFORESTATION AND RESTORATION ON THE NORTHERN HEMISPHERE – CASE STUDY EURASIA

F. KRAXNER[1], D. SCHEPASCHENKO[1,2], S. FUSS[3,4], A. KRASOVSKII[1], P. PATRIZIO[1], S. LEDUC[1], G. KINDERMANN[1,5], P. YOWARGANA[1], B. YUWONO[1], A. SHVIDENKO[1,6]

[1] Ecosystems Services and Management Program, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2361 Laxenburg, Austria
[2] Mytischi filial of Bauman Moscow State Technical University, 141005, Russian Federation
[3] Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC), 10829 Berlin, Germany
[4] Geographical Institute, Humboldt University of Berlin, 10099 Berlin, Germany
[5] Austrian Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape, 1131 Vienna, Austria
[6] Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation

This study aims at identifying the potential net negative emission contribution that can be achieved by afforestation with and without a BECCS component on the Northern Hemisphere with special emphasis on Eurasia. A combined remote sensing and GIS approach will be applied to identify potential afforestation locations in Eurasia. This approach will be complemented by biophysical forest modeling and techno-economic sink-source modeling for and optimal afforestation-bioenergy-carbon storage system.

Climate Warming is considered one of the major problems of our time. The Paris Agreement aims at maintaining global warming well below 2 deg C by the end of the century. In its recent special report (1.5 deg) [1], the IPCC projects a very limited window of opportunity to live up to the Paris Agreement. In order to do so, in addition to reaching zero net emissions by 2050 on a global scale, negative emissions (NEs) in the dimension of 600 Gt might need to be created between – latest between 2050 and 2100 [2]. To date, several greenhouse gas removal (GGRs) or negative emissions technologies (NETs) exist including Enhanced Weathering (EW), Bioenergy with Carbon Capture and Sequestration (BECCS), Direct Air Capture (DAC), Biochar and Afforestation/Reforestation/Restoration [4]. However, relevant parameters including the effectiveness, (both for climate and technology), energy and water demand, land availability, environmental sustainability, and public acceptance, as well as ramp-up time (to name a few) of NETs are investigated and understood at different levels and intensities [4,5]. Moreover, these parameters are also discussed rather controversially [6, 7].

As part of the UN-Paris Agreement, all signatory countries have developed NDCs by which the individual nations are planning to contribute their share to reaching the targets. However, there is a substantial gap between the sum of all national emissions savings pledges and the target. Furthermore, many countries are so far not on track with respect to entering and/or following the pathway required by their NDC. A first global stock take is scheduled for 2023. It is assumed that countries not reaching their committed emission reduction targets by 2030 will have to buy carbon credits on the emissions trading market in order to compensate for their non-accomplished emissions.

In order to contribute to the needs of negative emissions, the Northern Hemisphere – particularly Northern Eurasia – is well suited for biological sequestration, i.e. BECCS [8] and Afforestation/Reforestation/Restoration (ARR) [9-13]. In the latter option, CO_2 is removed through photosynthesis via biomass growth in large-scale ARR of marginal, degraded, and abandoned or deforested land. In particular, GGR can be achieved through the planting of trees on land that has not been forested recently (afforestation) or the restocking of recently

depleted land with (restoration) or without (reforestation) an emphasis on restoring ecological processes [14]. Post-2050 global potentials for afforestation are estimated at up to 10 $GtCO_2$/year [2-4]. Reforestation and restoration, particularly in high-productive tropical forest areas, could substantially increase 10 $GtCO_2$/year. However, this pathway bears a significant risk of impact by an ever-warming climate. Forest fire, drought, flood, wind throw and snow break, plant diseases, and infestations by fungi and insects (e.g. bark beetles) can lead to a massive loss of sequestered carbon and hence also loss of its negative emissions effect [15, 16]. As a hedging measure, this pathway suggests establishing forest conservation management [17] for carbon sequestration only on parts (e.g. 50%) of the afforested/reforested/restored area, with the other share managed to maintain the forest stock for carbon sequestration while the biomass increment is being used in a cascade system (long-lived forest products) before thermally converted into electricity and heat combined with carbon capture and storage in saline aquifers. The risk-prone afforestation part of the pathway will be addressed by (geographically explicit, global) forest/land use models [18] capable of inducing specific afforestation and management techniques considering climate change effects under different scenarios and risk modeling (e.g. wildland fire outbreak probabilities) in order to project realistic carbon sequestration values [19].

In this case study on (Northern) Eurasia, a combined afforestation – intensive, though sustainable, forest management will be assumed and modeled and assessed at high-geographic resolution [18]. Particular emphasis will be put on sustainable forest management including risk-resilient tree species representation and above- and below-ground carbon assessment.

A combined remote sensing and GIS assessment will be applied in order to identify potential afforestation locations. Techno-economic engineering modeling [20] will be applied to consider different optimal forest product streams. Finally, the engineering model is being used for projecting optimal source-sink matching with respect to biomass conversion to energy, optimal site selection for bioenergy plants, feedstock transport/logistics, carbon capture, and transport to possible injection points for permanent on- and off-shore storage of scrubbed CO_2.

Final objective of this study is to identify the potential net negative emission contribution that can be achieved by afforestation with and without a BECCS component on the Northern Hemisphere with special emphasis on Eurasia.

REFERENCES

1. *Intergovernmental* Panel on Climate Change (IPCC). 2018. Special Report on Global Warming of 1.5°C. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press. https://www.ipcc.ch/sr15/
2. *Minx J.C., Lamb W.F., Callaghan M.W., Fuss S., Hilaire J., et al.* 2018. Negative emissions: Part 1—research landscape and synthesis. Environ. Res. Lett. 13:063001
3. *Fuss S., Lamb W.F., Callaghan M.W., Hilaire J., Creutzig F., et al.* 2018. Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. Environ. Res. Lett. 13:063002
4. *Smith P., Davis S.J., Creutzig F., Fuss S., Minx J., et al.* 2016. Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions. Nat. Clim. Change 6:42–50
5. *Griscom B.W., Adams J., Ellis P., Houghton R.A., Lomax G., et al.* 2017. Natural pathways to climate mitigation. PNAS 114:11645–50
6. *Smith L.J., Torn M.S.* 2013. Ecological limits to terrestrial biological carbon dioxide removal. Clim.Change 118:89–103
7. *Edmonds J., Luckow P., Calvin K., Wise M., Dooley J., et al.* 2013. Can radiative forcing be limited to 2.6 Wm−2 without negative emissions from bioenergy and CO2 capture and storage? Clim. Change 118:29–43
8. *Kraxner F., Leduc S., Fuss S., Schepaschenko D.G., Shvidenko A.Z.* Sustainable forest-based bioenergy in Eurasia // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2018. N. 1: (in English with Russian abstract)
9. *Shvidenko A., Apps M.J.* The International Boreal Forest Research Association: Understanding

Boreal Forests and Forestry in a Changing World // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006, 11: 5-32.
10. *Houghton R.A., Butman D., Bunn A.G., Krankina O.N., Schlesinger P. and Stone T.A.* Mapping Russian forest biomass with data from satellites and forest inventories, Environ. Res. Lett. 2 (2007) 045032 (7pp), doi:10.1088/1748-9326/2/4/045032
11. *Pan Y., Birdsey R.A., Fang J., Houghton R., Kauppi P.E., et al.* 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. Science 333:988–93
12. *FAO*, Food and Agriculture Organization, Forest Resources Assessment (FRA) 2015, available at www.fao.org/forestry/fra/fra2015/en/
13. *International* Union for Conservation of Nature (IUCN). 2017. Bonn Challenge Barometer of Progress: Spotlight Report 2017. Gland, Switz.: IUCN. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/2017/2017-04-25_bonn_challenge_barometer_flyer_web.pdf
14. *Smith P., et al.* 2019. Impacts of Land-Based Greenhouse Gas Removal Options on Ecosystem Services and the United Nations Sustainable Development Goals. Annu. Rev. Environ. Resour. 2019. 44:4.1–4.32, https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033129
15. *Smith P., Haberl H., Popp A., Erb K., Lauk C., et al.* 2013. How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals? Glob. Chang. Biol. 19:2285–302
16. *Kreidenweis U., Humpenöder F., Stevanovi´c M., Bodirsky B.L., Kriegler E., et al.* 2016. Afforestation to mitigate climate change: impacts on food prices under consideration of albedo effects. Environ. Res. Lett. 11:85001
17. *Kraxner F., Schepaschenko D., Fuss S., Lunnan A., Kindermann G, et al.* 2017. Mapping certified forests for sustainable management—a global tool for information improvement through participatory and collaborative mapping. Forest Policy Econ. 83:10–18
18. *Kindermann G., Obersteiner M., Sohngen B., Sathaye J., Andrasko K., Rametsteiner E., Schlamadinger B., Wunder S. and Beach R.,* 2008, Global cost estimates of reducing carbon emissions through avoided deforestation. PNAS 2008 105 (30) 10302-10307; doi:10.1073/pnas.0710616105
19. *Krasovskii A., Khabarov N., Pirker J., Kraxner F., Yowargana P., Schepaschenko D., & Obersteiner M.* (2018). Modeling Burned Areas in Indonesia: The FLAM Approach. Forests 9 (7): e437. DOI:10.3390/f9070437.
20. *Leduc S., Schmid E., Obersteiner M., Riahi K.*, 2009, Methanol production by gasification using a geographically explicit model. Biomass and Bioenergy, 33(5):745-751

ACTUAL PROBLEMS AND ACTIVITIES IN FOREST PROTECTION AND SILVICULTURE IN THE STATE POLISH FORESTS

MICHAŁ MAGNUSZEWSKI[1], KRZYSZTOF ROSTEK[2]

[1] General Directorate of State Polish Forest, Specialist of Forest Services of Forests Silviculture, Warsaw, Poland (michal.magnuszewski@lasy.gov.pl)
[2] General Directorate of State Polish Forest, Head of Forest Silviculture Department, Warsaw, Poland

The forests area in Poland amounts to 9,242,000 of hectares, the total area of land administered by the State Forests amounted to 7,608,301.37 ha, the forestation is 29.6 %. The most dominant tree species in Poland is Scotch pine. It with spruce, larch and another coniferous occupy 68.4% of area in Poland. Poland is located in temperate climate zone with temporary features. Air masses with different properties - air masses with various sea-moist properties, coming from the west and continental dry from the east from the Asia area - are clashing over the area of Poland. However, the largest impact on Polish climate exert the masses of polar-marine and polar-continental air, which flow to Poland almost all year. Different air masses cause shifting seasonality of seasons, shortening winters with less snowfall and reducing rainfall at the beginning of the growing season. When the amount of rainfall reduced, the average summer temperature has increased. Due to this many species has faced major problems with growth, for example the main forest species like scotch pine and spruce.

In last years the most important damage in the pine forest came from abiotic and biotic factors. The main threat is coming from insect pests. In 2017, total abiotic and biotic cut area was 300,000 ha and total amount of harvest timber through sanitarian cuts amounted to 8,6 million m^3,in these the most threatened were coniferous stands (7,4 millions m^3.) The most important pests are *Phaenops cyaneus and Ips acuminatus.* Pathogens as *Sphaeropsis sapinea* and *Viscum* also caused significant disease. In 2017, the area of 17,500 hectares had diseases coming from roots, trunks and stems, the most important were Heterobasidion root and Armillaria root. Recently, hurricane force winds and drought were the main natural disasters in Poland. While in 2015 it amounted only to 48,500 ha, in 2016 it was 92,800 ha. Moreover, in 2017 total area of damages reached record of 131,700 hectares including 89,900 ha damaged by hurricane - force winds alone. The most important natural disasters which occurred in 2017 was hurricane occurred on 11^{th} -12^{th} of August [1]. It devastated forests in several dozen of forests districts in Pomerania and Kujawy. Owing Thanks to the multifunctional sustainable forest management model, on the basis of self-financing, the State Forests are able to cope with the existing problems. The field of science that repairs biocenotic and abiocenotic damage is called forest breeding. By means of various methods of species selection as well as monitoring, prevention of damage and care of economic forests, it is possible to keep them unchanged, along with increasing forest resources and accumulation of carbon dioxide. This has a positive impact on the ongoing climate change.

REFERENCES

1. *Report* of State Polish Forests 2018, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa 2018 [Polish].

ESTIMATION OF GAS EXCHANGE COEFFICIENTS FROM OBSERVATIONS ON YENISEI RIVER

S. MOLODTSOV[1], D. LI[1], A. ANIS[1], R. AMON[1], A. PANOV[2], A. PROKUSHKIN[2], S. YVON-LEWIS[1]

[1]Texas A&M University (serg.molodtsov@gmail.com)
[2]Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk Russia

The gas exchange between water bodies and air is difficult to measure, thus the Wanninkhof approach (Wanninkhof et al., 2014) to approximate air-sea gas exchange with wind speed is widely used. However, this approximation may not work well in river environments. In rivers, water currents may play a more important role in governing gas exchange than wind. In this study we compare different approaches to estimate the gas exchange coefficients using field observations during the summer of 2016 on the Yenisei River including ADCP current profiles and meteorological data. A new approach of calculating the gas exchange coefficient (k) based on near surface velocity scale (u_s) was used. The u_s is directly related to the surface stress and thus can be calculated using wind data. Also u_s can be approximated using kinetic energy dissipation rate (ε) data. u_s at the surface, calculated using wind speed was compared to u_s derived from ε. It was shown that in some cases wind speed does not produce high enough values of stress to match u_s calculations based on river velocity data, pointing to the lack of skill of traditional wind approximation of gas exchange in river environments. Here we introduce a new equation for approximation of k based on u_s. The results show that u_s derived gas exchange coefficients have an order of magnitude higher values than wind speed based ones, during the periods when the wind speed was relatively low. However during time with stronger wind speeds the k estimates based on both approximations start to match.

POTENTIAL OF RADAR REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR MAPPING OF FOREST COVER AND STRUCTURE PARAMETERS IN VARIOUS BIOMES

MIKHAIL URBAZAEV[1], FELIX CREMER[1], MARTYNA STELMASZCZUK-GORSKA[1], CHRISTIAN THIEL[2], CHRISTIANE SCHMULLIUS[1]

[1]Friedrich-Schiller-University, Jena, Germany (mikhail.urbazaev@uni-jena.de)
[2]DLR Institute of Data Science, Jena, Germany

SUMMARY

Information on the spatial distribution of forest cover and structure parameters (e.g., aboveground biomass, vegetation height) are crucial for assessing terrestrial carbon stocks and emissions. In this study, we present current opportunities and limitations of radar imagery for mapping and monitoring of forest cover (change) and forest structure parameters (e.g., aboveground biomass, vegetation height) in various biomes. We derived corresponding products over boreal (Siberia, Russia), temperate (central Mexico), and tropical dry forests (southern Mexico) using radar imagery and a machine learning approach. For model training and for result validation we used national field inventory data.

Radar backscattering coefficients at longer wavelength (e.g., L-band) served as one of the most important variables for all proposed products in all environments. Multi-temporal acquisitions of L-band data improve retrieval accuracies of all derived products compared to the results based on mono-temporal data. The model's predictive performance saturates however, at a specific number of L-band imagery. Thus, selecting L-band data strategically might help reduce data collection efforts by providing similar retrieval accuracies as using all possible data. Collectively, multi-temporal L-band SAR data are crucial dataset to generate forestry related products from local to national scales in different forest biomes.

Beside the spatial coverage, remote sensing offers unique opportunities for a repetitive mapping of forest parameters and thus, to assess their temporal dynamics. Bearing in mind new L-band missions in the near future (SAOCOM, NISAR, ALOS-4, potentially Tandem-L), the development of new algorithms based on dense time series of L-band backscatter are of high importance to map forest dynamics. An increasing number of optical, radar and LiDAR sensors in space and in the air (e.g., unmanned aerial vehicle), open opportunities to map forest parameters on an unprecedented spatial and temporal resolution with increased accuracies. These spatially explicit estimates on forest structure are of great interest for science, policy and industry and provide consistent baseline information for large scale monitoring.

ЛАБ Инструментс

Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 16/10
Тел. +7(903)762-0296, +7(499)724-8872
sa@labinstruments.ru
www.labinstruments.ru

Компания ЛабИнструментс занимается поставкой аналитических приборов, лабораторного оборудования, расходных материалов и реагентов для изучения и мониторинга параметров окружающей среды (атмосфера, почва, вода), для экологии, для изучения растений и среды их обитания, а также для биологии, ботаники, химии, биотехнологии, генетики и смежных областей.
Компания ЛабИнструментс является официальным представителем в РФ ряда ведущих производителей из США и Европы: LI-COR, Hukseflux Thermal Sensors, Gill Instruments, Stevens Water, Photon Systems Instruments, Hansatech Instruments, Regent Instruments, Eppendorf, Labconco, Fibercell Systems, Wheaton, Sonics & Materials и многих других.
Компания ЛабИнструментс поставляет оборудование по каталогу VWR USA (https://us.vwr.com).
Компания ЛабИнструментс имеет отлично сбалансированный портфель, который позволяет комплектовать «под ключ» лаборатории различного профиля.
Компания ЛабИнструментс имеет склад в г. Москве, где всегда в наличии наиболее ходовое оборудование и расходные материалы.
Компания ЛабИнструментс располагает штатом опытных сотрудников, которые всегда рады оказать квалифицированные консультации по оборудованию и помощь в подборе оборудования.

Наша цель– предложить Вам максимально широкий ассортимент высококачественной современной продукции, а также комфортный и профессиональный сервис!
Благодаря многолетнему опыту мы имеем возможность предложить Вам оптимальные технические решения по самым выгодным ценам!

Сегодня мы рады представить Вашему вниманию наших партнеров: компанию LI-COR (США), компанию Hukseflux Thermal Sensors (Голландия), компанию Gill Instruments (Великобритания), компанию Stevens Water (США).

Компания LI-COR (США) (www.licor.com) является ведущим мировым производителем профессиональных газоанализаторов CO_2 / H_2O / CH_4, оборудования и комплексных систем для экологического мониторинга атмосферы и почвы (Eddy Covariance и др.), соответствующего специализированного ПО, а также оборудования для изучения фотосинтеза, систем для измерения газообмена растений и почв, датчиков уровня освещенности и регистраторов к ним, приборов для измерения площади листьев и листового индекса, а также и другого оборудования.

В ассортименте компании LI-COR:



Система для измерения газообмена растений и изучения фотосинтеза
LI-COR LI-6800



Новинка!
Камера для измерения газообмена почв
LI-COR Smart Chamber



Система для измерения газообмена почв (дыхания почв)
LI-COR LI-8100A

ЛАБ Инструментс LI-COR®

www.labinstrumnents.ru www.licor.com

С мировым лидером – к научным горизонтам двадцать первого века!



Новинка!
Портативные газоанализаторы
CO_2 / H_2O / CH_4
LI-COR LI-7810, LI-7815



Новинка!
Универсальные газоанализаторы
CO_2 / H_2O
LI-COR LI-830, LI-850



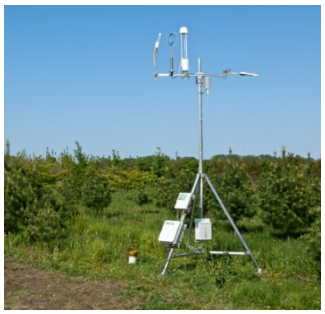
Новинка!
Портативный газоанализатор
CO_2 / H_2O
LI-COR LI-870



Газоанализаторы CO_2 / H_2O
открытого и закрытого типа
для мониторинга атмосферы
LI-COR LI-7500DS, LI-7200RS



Газоанализатор CH_4
открытого типа
для мониторинга атмосферы
LI-COR LI-7700



Наборы датчиков
(анемометры, радиометры и др.)
для станций экомониторинга
LI-COR Biomet



Портативный анализатор
листового индекса
LI-COR LI-2200LAI



Портативный анализатор
листьев
LI-COR LI-3000C



Лабораторный анализатор
листьев
LI-COR LI-3100C

ЛАБ Инструментс

Россия, г.Москва, ул.Миклухо-Маклая, д.16/10
Тел. +7(903)762-0296, +7(499)724-8872
sa@labinstruments.ru
www.labinstruments.ru

ЛАБ Инструментс

Россия, г.Москва, ул.Миклухо-Маклая, д.16/10
Тел. +7(903)762-0296, +7(499)724-8872
sa@labinstruments.ru
www.labinstruments.ru



Одноканальный регистратор сигнала с датчика освещенности
LI-COR LI-250A



Трехканальный регистратор сигналов с датчиков освещенности – даталоггер
LI-COR LI-1500



Новинка!
Новое поколение датчиков уровня освещенности
LI-COR

Hukseflux Thermal Sensors



Компания Hukseflux (Голландия) (www.hukseflux.com) предлагает широкий ассортимент профессиональных датчиков тепловых потоков, уровня освещенности, термической проводимости и соответствующих регистраторов, а также и другого оборудования.

В ассортименте компании Hukseflux:

√ Датчики тепловых потоков почвы, датчики солнечной радиации
√ Датчики и оборудование для измерения тепловых потоков
√ Датчики и оборудование для измерения теплопроводности

STEVENS
MEASUREMENTS TO MIND

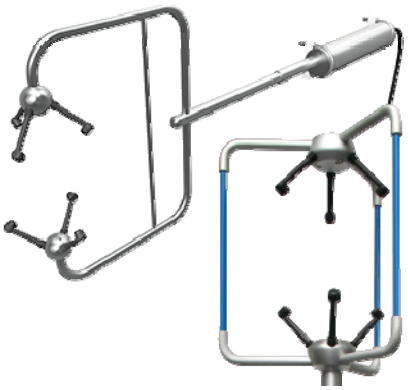


Компания Stevens Water (США) (www.stevenswater.com) - хорошо известный специалистам производитель датчиков и измерительного оборудования для мониторинга параметров почвы и воды.

В ассортименте компании Stevens Water:

√ Датчики и измерители параметров почвы (влажность, температура, засоленность)
√ Датчики для измерения метеопараметров, параметров вод
√ Анемометры, даталоггеры и др.

GILL



Компания GILL (Великобритания) (www.gillinstruments.com) занимается профессиональным оборудованием для измерения и мониторинга параметров окружающей среды.

В ассортименте компании Gill:

√ Анемометры
√ Погодные станции
√ Даталоггеры

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ: БИОРАЗНООБРАЗИЕ, БИОЭКОНОМИКА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

Материалы Всероссийской конференции с международным участием

26–31 августа 2019 г., Красноярск

Компьютерная верстка И.А. Михайловой
Корректор Т.И. Алешина

Подписано в печать 05.08.2019 г.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная 80 г/м^2.
Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л.38,5
Тираж 130 экз., заказ № 539

Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

Отпечатано в типографии ИП Дворядкина И.Д.