

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
(ИЛ СО РАН)

УДК 630*907.1

Рег. № НИОКТР АААА-А19-119112700093-2

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ФИЦ КНЦ СО РАН,

д.с.-х.н.

 А.А. Шпедт

«26» июня 2020 г.

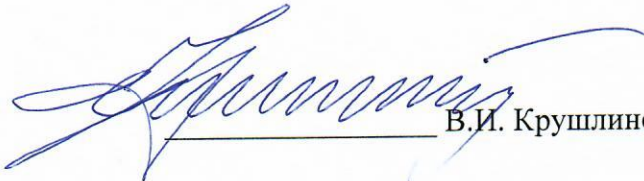
ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РАЗРАБОТКА ОСНОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОМФОРТНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ
ПОСРЕДСТВОМ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ И
АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ РАЗВИТИЯ КРАЕВОГО ЦЕНТРА
(промежуточный за 2019 г.)

Направление фундаментальных исследований
Программа ФНИ VI.52.2.1
Приоритетное направление 52 «Биологическое разнообразие»
Раздел VI «Биологические науки» Подраздел 52 «Биологическое разнообразие»

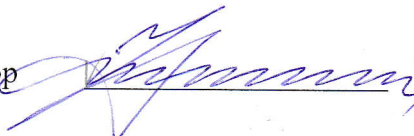
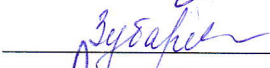
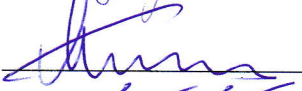
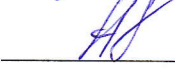
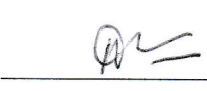
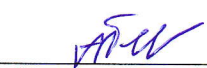
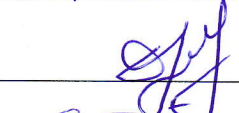
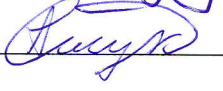
Инв. № 0287-2019-0004

Руководитель НИР
Ведущий научный сотрудник,
д-р арх. наук

 В.И. Крушлинский

Красноярск 2020

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР Зав. отделом, д. а. н., профессор		В.И.Крушлинский (Введение, раздел 1, Заключение)
Ст. науч. сотр., д-р. ф-м. наук		Маергойз Л. С. (раздел 2)
Ст. науч. сотр., канд. биол. наук		Зубарева О. Н. (раздел 1)
Ст. науч. сотр., канд. биол. наук		Кошкаров А. Д. (раздел 1)
Научн. сотрудник		Тимошкин В. Б. (раздел 1)
Научн. сотрудник		Тихонова Н. А. (раздел 1)
Мл. научн. сотрудник		Зиязов Д. С. (раздел 1)
Мл. научн. сотрудник		Мулява В. Е. (раздел 1)
Мл. научн. сотрудник		Мулява В. В. (раздел 1)
Мл. научн. сотрудник		Перцовая А. А. (раздел 1)
Мл. научн. сотрудник		Прысов Д. А. (раздел 1)
Мл. научн. сотрудник		Шуклина А. С. (раздел 1)
Нормоконтроль		Н.С.Кузьмик

РЕФЕРАТ

Отчет 47 с., 4 рис., 7 табл., 25 источн., 1 прил.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ, ЗЕЛЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ, СНЕГОВОЙ ПОКРОВ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА, ОРНИТОФАУНА, КВОТЫ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Объектом исследования являются компоненты зеленой инфраструктуры города и малые реки, впадающие в р. Енисей на территории города. В соответствии с задачами на 2019 год проводились натурные обследования, обработка результатов наблюдений и разрабатывалась методика зонирования города по интенсивности дифференциальных загрязнений.

По данным, собранным в 2018 году проведена оценка загрязнения снежного покрова города Красноярска. Установлено, что районы с низким (региональным фоновым) уровнем пылевой нагрузки, расположены в западной и юго-западной частях города. Высокий уровень пылевой нагрузки, в 80 раз превышающий фоновый уровень, приходится на территорию размещения предприятий АО «РУСАЛ Красноярск», ООО «КраМЗ», АО «Красноярской ТЭЦ-3». Проведено определение ионного состава фильтрата снеговой воды и рассчитана плотность выпадения ионов на территорию города. Наибольшие различия отмечены для потоков поступления ионов алюминия, водорастворимого фтора, никеля. Ореолы повышенных величин притока данных ионов приходились на район размещения предприятий АО «РУСАЛ Красноярск», ООО «КраМЗ», АО «Красноярская ТЭЦ-3».

В 2019 году были выбраны 10 мониторинговых пунктов в разных районах города для оценки загрязнения снежного покрова. Установлено, что для рекреационно-парковой зоны величина пылевой нагрузки практически соответствует уровню 2018 года. Для транспортно-селитебной и промышленно-транспортной зон отмечена тенденция к увеличению поступления пыли на единицу площади, что может быть обусловлено небольшой высотой снежного покрова в городе и особенностью ветрового режима в зимний период. Плотность выпадения ионов водорастворимого алюминия на всех мониторинговых пунктах возросла в 1,5-6,0 раз, тогда как плотность поступления водорастворимого фтора на территории города стала меньше в 1,4-7,3 раза по сравнению с 2018 годом, что вероятно связано с изменением технологии выплавки металлов на алюминиевом заводе.

Проведено обследование зеленых насаждений на 8 мониторинговых объектах. Установлено, что самый высокий индекс жизненного состояния (76 % и 74 %) имеют

насаждения скверов Чернышевского и «Одесского». Сильно ослабленные насаждения произрастают в пределах санитарно-защитной зоны алюминиевого завода, индекс состояния которых равен 47 %. Насаждения на остальных обследованных территориях характеризуются как ослабленные, индекс жизненного состояния варьирует в пределах 54,0- 70,0 %.

Обследование насаждений в «Березовой роще» Академгородка показало, что среди обследованных 1168 деревьев только 4% составляют здоровые деревья, а 14% деревьев относятся к категории усыхающих и сухостойных. Индекс жизненного состояния насаждения равен 47,3%, что соответствует категории сильно ослабленного. Неудовлетворительное жизненное состояние насаждений обусловлено тем, что возраст подавляющего большинства деревьев превышает 100 лет.

Химический анализ воды в малых реках, впадающих в Енисей, показал, что наиболее высокий уровень загрязнения воды наблюдается в среднем и нижнем течении реки Черемушка. Загрязнение воды в реках Кача, Бугач, ручье Собакина по основным показателям не превышает ПДК для вод питьевого и хозяйственного назначения.

Проведены учётные работы по выявлению видового состава и численности птиц в различных условиях местообитаний г. Красноярска, с разной степенью загрязнённости и плотностью населения.

Предложен математический способ распределения квот выбросов парниковых газов между их источниками в мегаполисе.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	7
1 Формирование базы данных загрязнения окружающей среды на основании материалов натурных исследований компонентов городской среды (снежного покрова, состояния растительности, качества воды в малых реках, впадающих в Енисей, уровня видового разнообразия орнитофауны).....	7
1.1 Оценка антропогенного загрязнения снежного покрова города Красноярска.....	7
1.2 Оценка жизненного состояния насаждений, зеленой инфраструктуры города	19
1.3 Оценка качества воды в малых реках г. Красноярска	26
1.4 Оценка состояния орнитофауны на территории г. Красноярска.....	28
2 Алгоритм распределения квот выбросов парниковых газов между источниками их выбросов в мегаполисе	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	40
ПРИЛОЖЕНИЕ А.	43

ВВЕДЕНИЕ

Создание комфортной городской среды для полноценной жизнедеятельности людей является одним из приоритетов социальной политики государства. Состояние окружающей среды во многих городах Сибири не соответствует предъявляемым требованиям. Пространственная структура зон различного функционального назначения (промышленные и селитебные районы) далека от оптимальной, а количество и состояние зеленых насаждений не отвечают существующим стандартам. Более того, в градостроительной политике не учитываются показатели атмосферного загрязнения, которые в первую очередь определяют комфортность проживания населения. В пригородных зонах отмечены элементы деградации экосистем, зоны массового отдыха планируются без учета рекреационной емкости природных ландшафтов и это отрицательно влияет на лесные массивы, что может привести к ухудшению экологической ситуации. Методики *количественной, интегральной оценки уровня* комфорта пока нет, а существующие показатели связаны главным образом с инфраструктурой. Несомненно, важную роль в наборе критериев должны играть показатели загрязнения территорий. Особенно актуальна эта проблема Красноярска, который более 10 лет входит в число городов с высоким уровнем загрязнения окружающей среды. Поэтому в рамках экологической безопасности города очень важна разработка принципов оценки зеленых насаждений для формирования комфортной городской среды с учетом характера загрязнения в различных районах города. Увеличение площадей лесов с высокой рекреационной емкостью, разработка мероприятий направленных на повышение их рекреационной емкости и увеличение объемов экосистемных услуг, позволяющих компенсировать дискомфорт загрязненных урбанизированных территорий, будут способствовать решению социально-экологических проблем крупных городов.

Достижение основной цели проекта - разработки основ формирования комфортной городской среды посредством создания системы зеленых насаждений и архитектурно-планировочных решений, невозможно без оценки актуального экологического состояния различных районов города. В связи с этим целью исследования первого этапа реализации проекта являлась оценка загрязнения снежного покрова и состояния зеленых насаждений в различных районах города Красноярска.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Формирование базы данных загрязнения городской среды (снежного покрова, растительности, воды малых рек, впадающих в Енисей).
2. Оценка пространственного распределения загрязняющих веществ в снежном покрове селитебной территории города Красноярска и расчет величин плотности выпадения загрязняющих веществ из атмосферы, позволивший провести зонирование территории по уровню загрязнения;
3. Проведение рекогносцировочных работ по выбору ключевых объектов для ведения мониторинга загрязнения снежного покрова и ведения наблюдений за состоянием зеленых насаждений и отбора образцов хвои и листьев древесных растений для биоиндикации загрязнения городской среды;
4. Оценка состояния зеленых насаждений на выбранных ключевых объектах в различных районах города.
5. Проведение рекогносцировочных работ по выбору ключевых объектов для мониторинга загрязнения воды в малых реках, впадающих в Енисей на территории города.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Формирование базы данных загрязнения окружающей среды на основании материалов натурных исследований компонентов городской среды (снежного покрова, состояния растительности, качества воды в малых реках, впадающих в Енисей, уровня видового разнообразия орнитофауны)

1.1 Оценка антропогенного загрязнения снежного покрова города Красноярска

Возможность использования снегового покрова в качестве регистрирующей структуры и оценка, в частности, и на этой основе экологической ситуации рассматривается в монографиях. Р. Г. Хлебопруса с соавторами (2012) - Красноярск, Результаты специальных исследований снегового покрова в качестве удобного и надежного индикатора загрязнения окружающей среды в Норильском промышленном районе Красноярского края и г. Красноярска изложены в работах Онучина А.А. с соавторами (2014, 2017), Т. П. Стримжи с соавторами (2012), С. А. Поликановой и А.В. Таловской (2015), С.Э. Бадмаевой и В.И. Циммермана (2015), Г.А. Демиденко и Д.С. Владимировой (2014).

Отбор проб снега проводился в период максимальных снеготолщин в начале марта снегомером ВС-43 высотой 60 см и площадью поперечного сечения 50 см². На территории

города Красноярска и в пригородной зоне для отбора проб снега выбирались участки с разным уровнем загрязнения. Для минимизации влияния горизонтального переноса снега и частиц пыли пункты отбора образцов располагались в парках, скверах или в лесу на прогалинах или между кронами деревьев. Чтобы исключить влияние автомагистралей пункты отбора проб размещались на участках, удаленных от автодорог на расстояние не менее 20-25 м. Всего для анализа отобраны образцы снега в 48 пунктах отбора, которые были подготовлены и анализированы в лаборатории по стандартным методикам (Методические рекомендации ...1990, Методика ..., 2009, Василенко, 1985).

В лаборатории образцы оттаивали при комнатной температуре, а затем фильтровались через фильтр «зеленая лента» с целью разделения жидкой и твердой фаз пробы. Химический анализ фильтрата талой снеговой воды выполнен в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Величина pH фильтрата талой снеговой воды определялась прибором для измерения pH – testo 206-pH 1, содержание элементов алюминия, меди, никеля, свинца проводилось в фильтрате талой снеговой воды методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Определение анионов F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- выполнялось методом ионной хроматографии на Ion Chromatography System Dionex ISN 110. Содержание исследуемых элементов и анионов в фильтрате талой снеговой воды определяли в единицах массовых концентраций – мг/дм³. Затем результаты пересчитывали в соответствующие значения поступления веществ на единицу площади за единицу времени – мг/м² за сезон. Пылевая нагрузка рассчитывалась по стандартной методике (Методические рекомендации, 1990): $P = Pa / (S * T)$, где P – величина пылевой нагрузки, мг/м² в сутки; Pa – вес твердого осадка снега, мг; S – проективная площадь осаждения, м²; T – временной интервал в сутках между моментом опробования и датой установления устойчивого снежного покрова. Также была рассчитана общая нагрузка, создаваемая поступлением каждого из химических элементов в окружающую среду за зимний период по формуле: $P = C * V / S$, где C – концентрация загрязняющего вещества в отфильтрованной снеговой воде, мг/л, V – объем талой снеговой воды одной пробы, л, S – площадь снегомера-плотномера м².

Результаты экспериментальных исследований загрязнения снежного покрова города Красноярска выявили районы с низким (региональным фоновым) уровнем пылевой нагрузки, расположенные в западной и юго-западной частях города. Высокий уровень пылевой нагрузки, в 80 раз превышающий фоновый уровень, приходится на территорию размещения предприятий АО «РУСАЛ Красноярск», ООО «КраМЗ», АО «Красноярской ТЭЦ-3». Проведено определение ионного состава фильтрата снеговой воды и рассчитана

обусловлено ее удаленностью от промышленных объектов и крупных автомагистралей. Внутри этой зоны выделяются 5 таксонов первого порядка: 1.1- природный фон; 1.2- лесопарковая зона; 1.3 – зона рекреации; 1.4 – зона жилой застройки; 1.5- шлейф промышленных выбросов. В таблице 1 приведены средние за сезон пылевые нагрузки (г/м^2 за сезон) и величины поступления ионов с талой снеговой водой на территорию города Красноярска (мг/м^2 за сезон).

Таблица 1 - Средние за сезон пылевые нагрузки (г/м² за сезон) и величины поступления ионов с талой снеговой водой на территорию города Красноярска, (мг/м² за сезон)

Кластеры										
Загрязнители	Кластер 1 Рекреационно-парковая зона					Кластер 2 Транспортно-селитебная зона			Кластер 3 Промышленно-транспортная зона	Кластер 4 Зона влияния выбросов АО "РУСАЛ"
	Подкластер 1.1	Подкластер 1.2	Подкластер1.3	Подкластер1.4	Подкластер1.5	Подкластер2.1	Подкластер2.2	Подкластер2.3		
Пылевая нагрузка (г/м ² за сезон)	1,25±0,46	4,13±1,85	6,60±1,52	6,31±1,97	15,29±2,82	19,81±1,07	14,51±3,04	14,25±2,13	29,73±2,76	57,52±2,27
Cu ²⁺	0,13±0,05	0,07±0,04	0,23±0,09	0,24±0,09	0,07±0,02	0,31±0,18	0,13±0,05	0,22±0,11	0,14±0,03	0,03±0,01
Ni ²⁺	0,03±0,00	0,04±0,01	0,49±0,01	0,12±0,06	0,14±0,03	0,05±0,005	0,05±0,01	0,08±0,03	0,09±0,01	1,63±0,75
Al ³⁺	4,60±0,55	2,89±0,95	9,42±1,65	12,28±3,74	14,38±5,57	16,23±3,00	20,05±3,09	14,01±1,59	19,73±2,95	269,84±78,10
Pb ²⁺	0,06±0,006	0,36±0,14	0,09±0,03	0,37±0,23	0,30±0,05	0,11±0,07	0,18±0,07	0,12±0,03	0,24±0,06	0,23±0,18
F ⁻	7,74±0,86	30,26±13,52	36,11±6,15	31,87±9,23	219,29±47,79	45,22±6,54	64,61±2,79	112,93±69,23	99,45±22,60	1574,80±390,12
Cl ⁻	46,13±7,64	42,35±9,68	156,29±14,03	51,44±8,30	43,23±5,42	211,87±46,5	223,97±33,06	78,23±14,69	353,94±50,32	188,43±77,29
NO ₂ ⁻	1,56±0,64	1,49±0,00	2,59±0,60	3,35±0,42	4,90±1,36	9,62±1,69	6,41±0,46	10,25±1,51	15,01±2,18	5,39±3,13
SO ₄ ²⁻	218,08±30,90	217,43±27,76	428,05±51,67	452,41±57,21	469,87±23,33	842,39±38,13	741,41±40,96	508,18±34,04	1171,02±184,61	706,87±224,59
NO ₃ ⁻	87,17±16,25	131,27±6,17	154,98±8,82	119,59±9,75	195,31±18,32	133,43±8,20	170,56±8,09	120,19±6,19	198,58±23,37	112,64±10,22

В Подкластер 1.1 - природный фон попадают пункты, расположенные в западной и юго-западной границах селитебной зоны города, примыкающие к заповеднику «Столбы» и в силу господствующего юго-западного переноса воздушных масс менее всего подверженные воздействию атмосферного загрязнения со стороны города. Поэтому средние значения плотности выпадения пыли на единицу поверхности и ионов с талой снеговой водой этого подкластера можно рассматривать как региональный фоновый уровень загрязнения.

Средняя пылевая нагрузка в пунктах отбора образцов, вошедших в этот подкластер составляет 10 мг/м^2 в сутки ($1247,3 \text{ мг/м}^2$ за сезон), что близко к фоновому значению $7\text{-}10,9 \text{ мг/м}^2$ в сутки, приведенному в работах ряда авторов (Язиков, 2006; Игнатенко, 2012; Поликанова, 2016). Среднее содержание ионов Cu в талой снеговой воде составляет $0,13 \text{ мг/м}^2$ за сезон, Pb $0,06 \text{ мг/м}^2$ за сезон и Ni $0,03 \text{ мг/м}^2$, что соответствует их концентрации в талой снеговой воде для урбанизированных территорий. В частности для города Познани (Польша) концентрация Cu, Pb, Ni в фильтрате снега равна соответственно 2,03, 4,93, 3,77 мкг/л (P.Siudek et al, 2015). Концентрация ионов, поступающих на территории Западно-сибирской низменности с талыми снеговыми водами значительно ниже и варьирует в пределах для Cu $0,16\text{-}2,51 \text{ мкг/л}$, для Pb $0,02\text{-}3,67 \text{ мкг/л}$, Ni $0,04\text{-}5,66 \text{ мкг/л}$ (Shevchenko et al, 2017). Региональные фоновые концентрации в снеге Квебека (Канада) по данным Telmer et al (2004) равны Cu – $1,1 \text{ мкг/л}$, Pb – $1,7 \text{ мкг/л}$.

Плотность выпадения водорастворимых ионов Al составляет соответственно $4,6 \text{ мг/м}^2$ за сезон (110 мкг/л), что почти в 2 раза выше величины фоновой концентрации г. Братска (Игнатенко и др., 2012). Для территории Западно-сибирской низменности фоновая концентрация Al изменяется в пределах $1,6\text{-}35,5 \text{ мкг/л}$ (Shevchenko et al, 2017).

Полученное среднее значение выпадения водорастворимого фтора составляет $7,74 \text{ мг/м}^2$ за сезон близко к величине фоновое содержание фтора в талых снеговых водах г. Братска (Иркутская область) (Игнатенко и др., 2012).

Плотность атмосферного выпадения иона SO₄²⁻ составляет 218 мг/м^2 за сезон, что почти в 2 раза выше значения фоновое уровня, приведенного для заповедника «Столбы» г. Красноярска (Хлебопрос и др. 2012). Региональный фоновый уровень поступления SO₄²⁻ с талыми снеговыми водами на территорию Средней тайги республики Коми составляет 130 мг/м^2 (Василевич и др., 2011).

Поступление ионов Cl⁻ равно 46 мг/м^2 за сезон в 1,5 раза выше фоновое содержание иона в талой снеговой воде заповедника «Столбы» г. Красноярска

значительно выше величины поступления этого иона на территорию Средней тайги республики Коми – 21 мг/м² (Василевич и др., 2011) и на территорию бассейна реки Снежная (оз. Байкал) (Сорокикова и др. 2015).

Второй подкластер 1.2 - лесопарковая зона, включает в себя пункты, находящиеся в городских и пригородных лесах, как в юго-западной, так и в северо-западной частях города, которые являются излюбленными местами отдыха горожан. Аккумуляция пыли в снеговом покрове этих пунктов за зимний период в 3,3 раза выше фоновых уровней. Также отмечается превышение фона по содержанию в талой снеговой воде ионов никеля и нитрат-иона в 1,5 раза, фтора в 3,9 раза, рН талой снеговой воды равен 5,5, что соответствует фоновому значению.

В третий подкластер 1.3 - зона рекреации объединяются участки, северной левобережной и юго-западной правобережной окраин города и городских скверов. В снежном покрове этих пунктов отмечается увеличение пылевой нагрузки по сравнению с фоном в 5,3 раза, содержание ионов меди и никеля в талой снеговой воде превышает фоновый уровень в 1,6 раза, алюминия в 2 раза, растворимого фтора в 4,7 раза, хлора в 3,4 раза, сульфат-ионов в 2 раза и нитрат-ионов в 1,8 раза.

Подкластер четыре 1.4 - зона жилой застройки (селитебная зона) включает в себя пункты, расположенные по большей части в жилой зоне в различных частях города за исключением его центральной части. Пылевая нагрузка на этих участках в среднем составляет 6,31 г/м² за сезон, что выше фоновых значений в 5 раз, кроме того, наблюдается увеличение поступления с талой снеговой водой ионов никеля в 3,9 раза, алюминия в 2,7 раза, фтора в 4,1 раза и сульфат-иона в 2,1 раза по сравнению с фоновыми показателями.

Самый высокий уровень загрязнения снежного покрова в рекреационно-парковой зоне отмечен для пятого подкластера 1.5 (шлейф промышленных выбросов). Снегомерные пункты, входящие в этот хронологический таксон, расположены за пределами городской черты с подветренной стороны и характеризуется 12-кратным превышением фоновых пылевых нагрузок, более высоким поступлением ионов никеля в 4,8 раза, алюминия в 3,1 раза, фтора в 28 раз, а также нитрат- и сульфат-ионов в 2,2 раза по сравнению с фоном. Пункты отбора образцов 47 (район п. Ермолаево) и 48 (Есаульский бор), расположены в восточной правобережной рекреационной части города, испытывают влияние загрязненного городского воздуха, приносимого западными и юго-западными ветрами. Пункт 50 (дорога на Барабаново) находится в северной части рекреационной зоны города

и при юго-восточном направлении ветра на эту территорию поступают выбросы от алюминиевого комбината.

Кластер 2 Транспортно-селитебная зона по уровню пылевых нагрузок и содержанию ионов в талой снеговой воде превышает эти показатели рекреационно-парковой зоны практически в два раза. Для этой зоны выделено три таксона первого порядка: 2.1 - подкластер длительной урбанизации, 2.2 - подкластер активного транзита воздушных масс, который выделяется вдоль долины реки Енисей, и 2.3 - подкластер постпромышленная зона.

В подкластер 2.1 длительной урбанизации вошли пункты, расположенные в центральной, восточной и северо-восточной частях города, попадающие под воздействие загрязнений от транспорта, предприятий теплоэнергетики и промышленности. Пылевая нагрузка на этих участках в среднем равна $19,81 \text{ г/м}^2$ за сезон, что выше фонового значения в 15,8 раз, кроме того, наблюдается увеличение поступления с талой снеговой водой ионов никеля в 2 раза, алюминия в 4, фтора в 6 и сульфат-иона в 4 раза по сравнению с фоновыми показателями.

В подкластер 2.2 активного транзита воздушных масс вошли пункты, расположенные на островах р.Енисей в пределах городской черты. По характеру загрязнения снежного покрова они отличаются несколько меньшими пылевыми нагрузками по сравнению со смежными участками предыдущего подкластера длительной урбанизации. Пылевая нагрузка в подкластере активного транзита воздушных масс превышает фоновые показатели в среднем в 12 раз.

В подкластер 2.3 постпромышленной зоны вошли участки, вблизи которых ранее располагались промышленные объекты ныне не действующие и территории которых используются под жилую застройку. По характеру загрязнения снежного покрова они несущественно отличаются от средних показателей транспортно-селитебной зоны в целом за исключением поступления ионов фтора $112,9 \text{ мг/м}^2$ за сезон, что превышает фоновые показатели в 15 раз, тогда как в среднем по транспортно-селитебной зоне значения этого показателя равны 68 мг/м^2 за сезон. Такая разница обусловлена тем, что в подкластер постпромышленной зоны попал участок бывшей свалки завода по выплавке алюминия АО «РУСАЛ Красноярск» в промышленных выбросах которого фтор является одним из основных компонентов.

Следующий кластер объединяет участки, входящие в промышленно-транспортную зону, в которой формально выделяются два таксона второго порядка. Однако существенных различий по характеру и степени загрязнения между ними не наблюдается.

Уровень пылевой нагрузки в этой зоне в среднем составляет 30 г/м^2 за сезон, что в 28 раз превышает фоновый показатель. Отмечено увеличение поступления с талой снеговой водой ионов – никеля в 3 раза, алюминия в 4, фтора в 13, хлора в 8, сульфат-иона в 5, нитрат ионов в 2 раза. В тоже время в некоторых пунктах этой зоны, попадающих под факел выбросов алюминиевого завода, плотность выпадения фтора превышала фоновые значения в 20- 40 раз.

Последний кластер сформирован участками, входящими в зону влияния выбросов завода по выплавке алюминия АО «РУСАЛ Красноярск». Сюда вошли всего три участка расположенные практически в санитарно-защитной зоне предприятия. Плотность выпадения пыли на этих участках в среднем составляет $57,52 \text{ г/м}^2$ за сезон (460 мг/м^2 в сутки). Вблизи предприятия пылевая нагрузка составляет $101,31 \text{ г/м}^2$ за сезон (810 мг/м^2 в сутки), что более чем в 80 раз превышает фоновые пылевые нагрузки. Приведенные данные хорошо согласуются с результатами более ранних исследований С.А. Поликаной (2016), проведенных в окрестностях алюминиевого завода города Красноярска. Автор отмечает, что пылевая нагрузка в километровой зоне вокруг предприятия варьировала в пределах от 342 до 816 мг/м^2 за сутки. Для этого пункта характерно увеличение поступления с талой снеговой водой ионов никеля в 100 раз, алюминия в 80 раз, водорастворимого фтора в 300 раз по сравнению с фоном. В тоже время величина выпадений ионов хлора, сульфат-ионов и нитрат-ионов не превышает аналогичных показателей для промышленно-транспортной зоны.

В 2019 году на основании результатов исследования снежного покрова города Красноярска, проведенного в 2018 году, были выбраны 10 мониторинговых пунктов в разных районах города. В рекреационно-парковой зоне образцы снега отбирались в Академгородке (пункт 1), в окрестностях турбазы Дивногорск (пункт 12), сквер Чернышевского (пункт 31), Есаульском сосновом бору (пункт 48). В транспортно-селитебной зоне сбор снега произведен в 2 пунктах - Центральном парке (пункт 8) и на острове Отдыха (пункт 10). В промышленно-транспортной зоне исследовались образцы снега с улицы Затонской (пункт 19) и вблизи КрасТЭЦ-1 (пункт 41). В зоне алюминиевого завода пункты 36 (вблизи завода) и 38 на северной окраине СЗЗ АО РУСАЛ.

Установлено, что для рекреационно-парковой зоны величина пылевой нагрузки практически соответствует уровню 2018 года. Для транспортно-селитебной и промышленно-транспортной отмечена тенденция к увеличению поступления пыли на единицу площади, что может быть обусловлено небольшой высотой снежного покрова в городе и особенностью ветрового режима в зимний период (таблица 2). Обращает на себя

внимание увеличение поступления с талыми снеговыми водами ионов меди, что возможно связано с изменением методики определения этого элемента. Плотность выпадения ионов водорастворимого алюминия с талыми снеговыми водами на всех мониторинговых пунктах увеличилась в 1,5-6 раз. Плотность поступления водорастворимого иона фтора на территорию города стала меньше в 1,4-7,0 раза по сравнению с 2018 годом (таблица 3). Также отмечена тенденция к уменьшению величины плотности поступления иона SO_4^{2-} с талыми снеговыми водами на территорию города в 1,2-5,8 раз по сравнению с предыдущим годом. Отмеченные тенденции снижения поступления водорастворимых ионов F^- и SO_4^{2-} возможно обусловлены некими технологическими особенностями выплавки металла на алюминиевом заводе. Полученные в 2019 году данные по поступлению ряда ионов металлов и анионов незначительно отличаются от величин их поступления в 2018 году.

Таблица 2 - Средние пылевые нагрузки (г/м² за сезон) и величины поступления катионов с талой снеговой водой (мг/м² за сезон)

Пункт отбора образцов	Nsp	Пылевая нагрузка (г/м ² за сезон)	Ph	Cu ²⁺		Ni ²⁺		Al ³⁺		Pb ²⁺
Год		2019		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018
Кластер 1 Рекреационно-парковая зона.										
Подкластер 1.1 Природный фон										
Подкластер 1.2 Лесопарковая зона (условный фон)										
Академгородок березняк	1	0,9±0,4	5,41	0,1166	0,2±0,1	0,0444	0,02±0,005	1,6733	3,784	0,1866
Турбаза Дивногорск	12	1,7317	5,59	0,0046	1,0147	0,0158	0,1256	3,092	4,7149	0,1203
Подкластер 1.3 Зона рекреации										
Подкластер 1.4 Зона жилой застройки (селитебная зона)										
Сквер Чернышевского	31	12,42	6,4	0,0065	0,4577	0,0209	0,2401	13,214	45,142	0,0593
Подкластер 1.5 Шлейф промышленных выбросов										
Есаулово	48	8,93±1,09	6,06	0,0933	0,36±0,15	0,1587	0,10±0,01	9,6837	10,1±1,6	0,2904
Кластер 2 Транспортно-селитебная зона										
Подкластер 2.1 Длительной урбанизации										
Парк Горького	8	22,08±1,27	6,75	0,1218	0,64±0,04	0,0557	0,09±0,01	11,139	29,2±7,7	0,0407
Подкластер 2.2 Активного транзита воздушных масс										
О. Отдыха СВ	10	10,609	6,5	0,2261	0,9164	0,0745	0,0644	16,147	95,428	0,311
Подкластер 2.3 Постпромышленная зона										
Кластер 3 Промышленно-транспортная зона.										
Улица Затонская	19	84,594	7,19	0,1327	0,964	0,0266	0,12±0,05	2,1789	9,0±1,0	0,0413
КрасТЭЦ	41	10,948	6,79	0,0598	0,1143	0,1655	0,0441	22,677	11,293	0,2721
Кластер 4 Зона влияния выбросов завода по выплавке алюминия ОАО "РУСАЛ"										
КРАЗ клен	36	69,964	5,8	0,0192	0,3663	3,0592	2,2691	372,86	377,93	0,5885
КРАЗ сады	38	39,62±9,66	5,6	0,0122	0,5262	0,5416	0,4191	116,64	134,69	0,0456

Таблица 3 - Поступление анионов с талой снеговой водой (мг/м²) за сезон (2018-2019 годы)

Пункт отбора образцов	Nsp	F ⁻		Cl ⁻		NO ₂ ⁻		SO ₄ ²⁻		NO ₃ ⁻	
Год		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Кластер 1 Рекреационно-парковая зона											
Подкластер 1.1 Природный фон											
Подкластер 1.2 Лесопарковая зона (условный фон)											
Акад березняк	1	19,7504	2,7±0,1	34,9708	29,4±0,9	0	12,7±0,1	205,643	69,3±17,5	128,311	31,9±7,7
Турбаза Дивногорск	12	12,4761	4,11018	68,8223	96,6842	0		145,247	262,927	117,863	127,569
Подкластер 1.3 Зона рекреации											
Подкластер 1.4 Зона жилой застройки (селитебная зона)											
Сквер Чернышевского	31	18,1357	33,9605	53,8816	149,659	2,85417	19,6371	471,549	473,686	107,81	80,1564
Подкластер 1.5 Шлейф промышленных выбросов											
Есаулово	48	244,918	141,2±5,2	36,9335	49,6±6,7	3,53655	11,4±0,8	423,913	437,6±38,2	178,748	139,1±10,4
Кластер 2 Транспортно-селитебная зона											
Подкластер 2.1 Длительной урбанизации											
Парк Горького	8	40,3169	28,9±5,3	313,523	295,6±13,0	5,28601	24,8±1,6	832,366	974,7±15,5	108,713	131,3±12,6
Подкластер 2.2 Активного транзита воздушных масс											
О. Отдыха СВ	10	61,969	34,7595	273,218	356,792	5,56069	20,0081	694,997	507,974	161,065	96,7716
Подкластер 2.3 Постпромышленная зона											
Кластер 3 Промышленно-транспортная зона											
Улица Затонская	19	13,2341	11,6±1,5	185,299	494,4±177,2	19,6489	55,9±20,2	3392,62	603,5±127,0	94,5933	130,0±26,9
КрасТЭЦ	41	47,7885	22,4497	677,466	47,7578	19,0879	10,7216	1159,72	225,18	155,048	71,1237
Кластер 4 Зона влияния выбросов завода по выплавке алюминия ОАО "РУСАЛ"											
КРАЗ клен	36	2255,82	1575,69	293,623	122,948	0		1143,93	925,468	128,703	86,5833
КРАЗ сады	38	904,528	1047,0±150,5	37,7469	110,5±12,7	8,5226		398,613	499,3±110,0	93,6542	99,0±7,1

1.2 Оценка жизненного состояния насаждений, зеленой инфраструктуры города

В летний период было проведено обследование зеленых насаждений на 8 мониторинговых объектах: учетная площадка в Академгородке в районе биатлонной трассы (п.1), сквере Чернышевского в Покровке (п.31), парке Центральный (п.8), на о. Молокова в сосново-тополевом насаждении (п.10), парке ДК Кировский (п.19), сквере Одесский (п.41), в тополевом насаждении п. Индустриальный (п.37) в сквере перед старым зданием управления КраЗа (п.36). Оценка состояния деревьев осуществлялась визуальным методом по характеристике кроны (Алексеев, 1989; Временные методические указания, 1995).

Общая площадь обследованного участка в Академгородке (п.1) – 0,5 га, плотность произрастания деревьев 686 шт./га, в составе насаждения преобладает сосна обыкновенная, единично береза повислая. Всего обследовано 343 дерева, из них здоровые деревья составляют 17%, ослабленные - 63%, усыхающие и сухостой - 20% и деревья со структурными изъянами (категория 7) - 3%, индекс состояния насаждения равен 54%, что соответствует категории ослабленного. На территории сквера Чернышевского (п.31) произрастают следующие виды древесных растений: вяз гладкий, вяз мелколистный, тополь бальзамический, липа мелколистная, клен ясенелистный, ель обыкновенная, лиственница сибирская. Всего было обследовано 332 дерева, из них 46% относятся к категории условно здоровых, 47% ослаблены и 7% составляют усыхающие деревья, индекс состояния насаждения равен 75,9%, что соответствует категории ослабленного. В 2018 году была проведена реконструкция сквера, были удалены сухостойные деревья и на их место посажены молодые деревца, проведена омолаживающая обрезка старых деревьев вяза мелколистного, вяза гладкого, тополя бальзамического.

В парке Центральный (п.8) были обследовано насаждение в более старой, западной части парка, которая расположена вблизи автомагистрали с интенсивным движением транспорта – улицы Маркса. Площадь учетной площадки 0,79 га, плотность посадки 456шт/га. Ассортимент древесных растений достаточно богатый: тополь бальзамический, клен ясенелистный, сосна обыкновенная, вяз мелколистный, вяз гладкий, липа мелколистная, яблоня сибирская, груша уссурийская, береза повислая, лиственница сибирская, ель обыкновенная, ель колючая, форма голубая, пихта сибирская, ясень обыкновенный, черемуха обыкновенная. Всего было обследовано 361 дерево, из них здоровые деревья составляют 25%, ослабленные - 68%, усыхающие и сухостой – 7% и деревья со структурными изъянами 7% от общего числа стволов на площадке. Индекс состояния насаждения равен 64,1, что соответствует категории ослабленного.

В качестве пункта для мониторинга за насаждениями на о. Отдыха была выбрана учетная площадка на о. Молокова (п.10), в естественном сосново-тополевом насаждении с примесью березы. Плотность произрастания деревьев 461 шт./га. Обследовано 106 деревьев, из них 35% стволов характеризуются как условно здоровые, 50% представлены ослабленными деревьями и 15% составляют усыхающие и сухостойные деревья, и только 5% составляют деревья со структурными изъянами. Индекс состояния древостоя равен 64%, что соответствует категории ослабленного. Существенный вклад в ослабление деревьев вносят ежегодные весенние пожары, о чем свидетельствуют нагары на стволах и старые подсушины.

Парк ДК Кировский расположен в 300 м восточнее мониторингового пункта (19), поэтому насаждение этого парка было выбрано в качестве объекта долгосрочных наблюдений. Парк находится в районе малоэтажной застройки, где в зимнее время для обогрева используется печное отопление и зоне переноса газообразных и пылевидных выбросов ТЭЦ-2, завода Красноярский цемент, асфальтобетонного завода. В настоящее время на территории парка произрастают следующие виды древесных растений: тополь бальзамический, клен ясенелистный, единично вяз мелколистный, во втором ярусе единично встречается черемуха обыкновенная. Плотность насаждения - 643 шт/га. Всего обследовано 251 дерево, из них условно здоровые деревья составляют только 14%, ослабленные 77% и усыхающие и сухостойные деревья - 9%, деревья со структурными изъянами – 6,4%. Этот показатель достаточно велик, поскольку к моменту учета на территории парка осуществлялась реконструкция насаждения парка и уже были проведены санитарные рубки. Индекс состояния равен 56,9%, что позволяет характеризовать насаждение как сильно ослабленное. На месте вырубленных деревьев произведены посадки молодых саженцев.

Следующим пунктом для мониторинга за насаждениями в городе выбран сквер Одесский, расположенный в южной части СЗЗ зоны АО РУСАЛ (2,85 км к югу от промплощадки предприятия). Сквер находится Ленинском районе города Красноярска (п.41). Площадь обследованного участка 0,39 га, плотность посадки насаждения 569 шт/га. Ассортимент древесной растительности довольно широк: тополь белый, тополь черный, тополь бальзамический, сосна обыкновенная, лиственница сибирская, ель сибирская, вяз мелколистный, клен ясенелистный, береза повислая, ива козья, яблоня сибирская. Из кустарников карагана древовидная. Обследовано 222 дерева, из них 31% составляют условно здоровые деревья, 66% деревьев на обследованной территории ослаблены, на долю усыхающих и сухостойных приходится 3% от общего числа обследованных

деревьев. Индекс состояния равен 73,5, что характеризует насаждение как ослабленное. Территория сквера очень ухожена, очень чисто, обустроены места для тихого отдыха и отдыха с детьми. Газоны регулярно прокашиваются.

В качестве пункта наблюдения за насаждениями города дополнительно была выбрана площадка в районе бывшего п. Индустриальный (430м северо-восточнее от промплощадки предприятия) (п.37). Площадь обследованного участка 0,33 га, плотность посадки деревьев 272шт./га. Насаждение представлено рядовыми посадками тополя бальзамического и находится вблизи прудов бессточной системы водооборота. Обследовано 90 деревьев, из них только 8% составляют здоровые деревья, 72% деревьев ослаблены и сильно ослаблены, усыхающие и сухостойные деревья составляют 20%, а на долю деревьев со структурными изъянами приходится 5% от всех деревьев на учетной площадке. Насаждение неоднократно пройдено беглым низовым пожаром (весенние палы сухой травы). Индекс состояния равен 46,8%, что соответствует категории сильно ослабленного насаждения. Ослабление этого насаждения может быть связано с повреждением стволов при прохождении весенних беглых низовых пожаров, неблагоприятным влиянием выбросов предприятия и третьей причиной может быть недостаточное увлажнение территории из-за подпитки подземными водами прудов бессточного охлаждения. Для ответа на этот вопрос необходимо проведение дополнительных исследований.

В восточной части СЗЗ алюминиевого завода был обследован заброшенный сквер перед бывшим зданием управления строительства завода. Координаты этого пункта практически совпадают с координатами 36 мониторингового пункта по снежному покрову. Площадь обследованного участка 0,21 га. Плотность посадки деревьев 242 шт/га. На территории сквера произрастают следующие виды: тополь бальзамический, вяз мелколистный, черемуха маака. Всего обследовано 51 дерево, здоровые деревья составляют только 4% от числа обследованных, 74 % деревьев ослаблены, 22% характеризуются как усыхающие и сухостойные деревья, доля деревьев со структурными изъянами составляет 2%. Индекс состояния всего насаждения сквера - 47,7%, что соответствует категории сильно ослабленного.

Таким образом, проведенное обследование насаждений, произрастающих в районах с различным уровнем загрязнения, выявило, что сильно ослаблены насаждения, произрастающие в непосредственной близости от алюминиевого завода. Состояние насаждений на остальных обследованных территориях сильно зависит от ухода за этими насаждениями. Однако для получения ответа на вопрос, что является главной причиной

ослабления деревьев в городе необходимо проведение дополнительных исследований по химическому составу хвои и листьев деревьев, также уровню загрязнения почв и степени доступности для растений элементов питания.

Помимо городских насаждений, испытывающих сильное влияние от загрязнения атмосферного воздуха, значительному воздействию токсикантов подвергаются городские и пригородные леса, которые являются источником поступления чистого воздуха на городскую территорию. Лесной массив «Березовая роща является одним из самых посещаемых и любимых мест отдыха горожан. Строительство университетского городка, расширение жилой зоны Академгородка привело к увеличению антропогенной нагрузки на этот лесной массив и ухудшению состояния насаждения. Для сохранения этого уникального места отдыха необходимо оценить состояние насаждения на территории Березовой рощи и разработать мероприятия по ее стабилизации. Поэтому в летний период 2019 года были заложены 7 пробных площадей в лесном массиве, расположенном между двумя микрорайонами города и представленном длительно производным березняком злаково-разнотравным с фрагментами разновозрастных рыхлопокровных сосняков искусственного происхождения (рисунок 2).

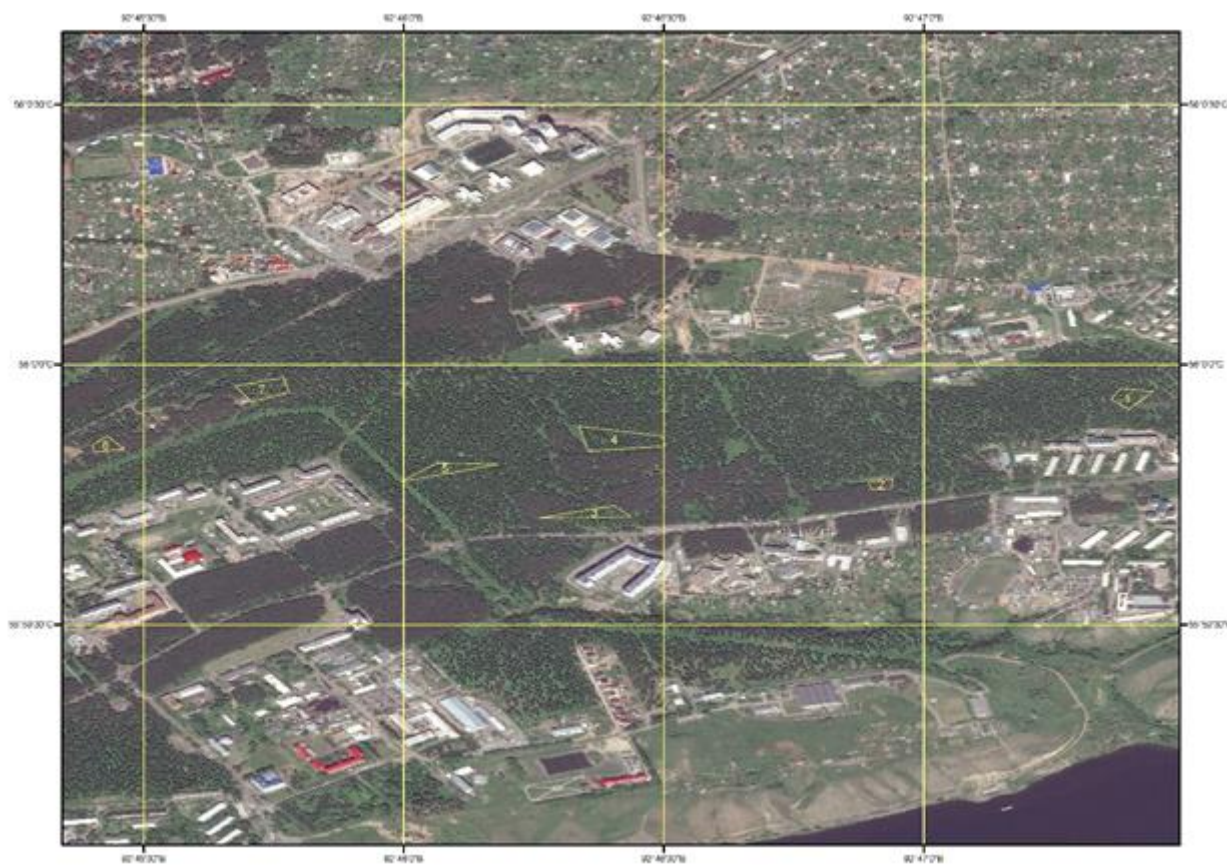


Рисунок 2 - Карта-схема расположения пробных площадок (отмечены номерами).

В «Березовой роще» Академгородка было обследовано 1168 деревьев, из них 4 дерева осины, 8 деревьев лиственницы, 440 деревьев сосны, 728 деревьев березы. Среди 1168 обследованных деревьев только 4% составляют здоровые деревья, 32% деревьев ослаблены, 50% сильно ослаблены, 14% деревьев относятся к категории усыхающих и сухостойных. Доля деревьев со структурными изъянами составляет 7%. Индекс жизненного состояния всех обследованных деревьев равен 47,3%, что соответствует категории сильно ослабленного насаждения. Неудовлетворительное жизненное состояние обследованных насаждений обусловлено тем, что возраст подавляющего большинства деревьев превышает 100 лет.

В процессе обследования насаждений были выявлены болезни и повреждения деревьев березы повислой и сосны обыкновенной, данные о распространенности и вредоносности основных из них приведены в таблице 4. Среди повреждений стволов распространены сухобочины (8,1 %), являющиеся результатом механического травмирования деревьев, что вполне очевидно для городских условий. В среднем 10,8 % деревьев в изучаемых посадках имеют признаки повреждения морозобоим (морозобойные трещины). Результаты обследования в дальнейшем будут использованы для создания проекта по благоустройству этой территории и разработки мероприятий по сохранению насаждения.

Таблица 4 - Распространенность болезней и повреждений, %

Болезнь, повреждение	ПП							В среднем
	1	2	3	4	5	6	7	
Сухобочина	2,4	17,9	5,5	10,7	6,3	11,2	3,1	8,1
Суховершинность	4,8	1,6	3,8	2,5	14,3	1,8	8,7	5,3
Морозобоина	21,4	4,9	3,8	23,4	9,7	2,9	9,4	10,8
Слизетечение	-	-	-	0,8	0,6	-	-	0,2
Пожарная подсушина	4,8	-	0,7	12,3	1,7	4,7	9,4	4,8
Гниль	-	-	0,7	2,0	1,1	0,6	0,8	0,7
Бактериальная водянка	-	-	-	-	-	-	0,8	0,11
Бактериальный бугорчатый рак	-	-	0,7	-	-	-	-	0,7
Ступенчатый рак	4,8	-	-	5,3	3,4	-	8,7	3,2

Начата работа по созданию ГИС экологического состояния природно-территориальных комплексов г. Красноярска и его окрестностей с целью накопления, формализации и структуризации сведений и знаний, и дальнейшей разработки научных

основ экоурбанистики в условиях Сибири. С применением программных средств ArcMap создана цифровая карта лесного массива «Березовая роща» (с планом ее расширения до масштаба ГИС пригородной зоны г. Красноярска) (рисунок 2).

Проведена инвентаризация флористического состава травяного покрова березняков (разнотравного и осочково-разнотравного) и сосняков (разнотравного, разнотравно-вейникового и зеленомошно-осочково-разнотравного) лесного массива «Березовая роща».

Выполнено сравнительное геоботаническое изучение флористической насыщенности растительного покрова березняков разнотравных, исследованных в 2002 г. В.Д. Перевозниковой, О.Н. Зубаревой, а в отчетный период – А.Д. Кошкарковым, Ю.С. Чередниковой. Число зарегистрированных травянистых видов в фитоценозе 2002 г. составляло 52, в настоящее время оно сократилось до 44 видов. Анализ сходства видового состава эколого-ценотических групп показал также существенную перестройку структурного разнообразия. Уменьшилось на 15% число лесолуговых и лесостепных видов. В 2 раза (на 32%) увеличился состав сорных рудеральных видов. Появилось три новых инвазийных вида - *Acer negundo* L., *Cerasus fruticosa* Pall., *Syringa* sp., которые являются злостными сорняками. Деграция естественных растительных сообществ продолжается, что требует дальнейшей унификации их состава, и структуры для выработки мер по природоохранной работе и рекреационному устройству.

Глубина трансформации рекреационно нарушенных фитоценозов должна оцениваться различными методами, и здесь одним из наиболее перспективных является исследование почвенного банка семян. Данные по его изучению дают динамику биоразнообразия и состояния фитоценозов, степень антропогенного и техногенного нарушения, их историю, что должно также учитываться при планировании природоохранных мероприятий. С этой целью было заложено два почвенных разреза в березняке разнотравном и сосняке папоротниково-разнотравном. Лабораторные анализы уже проведены и результаты обрабатываются.

Одной из важных задач лесного хозяйства и зеленого строительства является создание насаждений из быстрорастущих декоративных древесных видов. Такими видами можно считать тополя. Среди большого числа видов тополя особый интерес для озеленения представляет тополь белый с пирамидальной формой кроны (*Populus alba* L. f. *pyramidalis*). Мужские особи данного вида особенно ценны в городских посадках, так как не дают пуха и не вызывает аллергическую реакцию у людей. Кроме того тополь отличается быстрым ростом, очень пластичен, светолюбив, довольно морозостоек,

хорошо выносит сухой и жаркий климат. Имеет хорошо развитую корневую систему, ветроустойчив.

Препятствием для широкого применения этой формы тополя является трудности его размножения традиционными способами, так как зеленые и одревесневшие черенки, взятые из кроны взрослого дерева тополя белого, практически не укореняются (Бакулин, 2012). С помощью метода микроклонального размножения в условиях *in vitro* можно быстро массово тиражировать плюсовые особи данного вида. И также применять данный метод для выращивания качественного стандартного посадочного материала при создании городских насаждений. Микроразмножение тополя белого с пирамидальной формой кроны (*Populus alba* L. f. *pyramidalis*) проводилось согласно методике Машкиной О.С. (Машкина, 2011).

Отработана методика микроклонального размножения тополя белого формы пирамидальной (*Populus alba* L. f. *pyramidalis*), размножение которого затруднено традиционными методами воспроизводства древесных растений. Таким образом, для массового получения саженцев, можно рекомендовать данную методику, а в качестве дерева-донора - тополь белый с пирамидальной формой кроны, растущий в дендрарии Института леса, мужские особи которого особенно ценны в городских посадках, так как не дают пуха и не вызывает аллергическую реакцию у людей (рисунок 3).

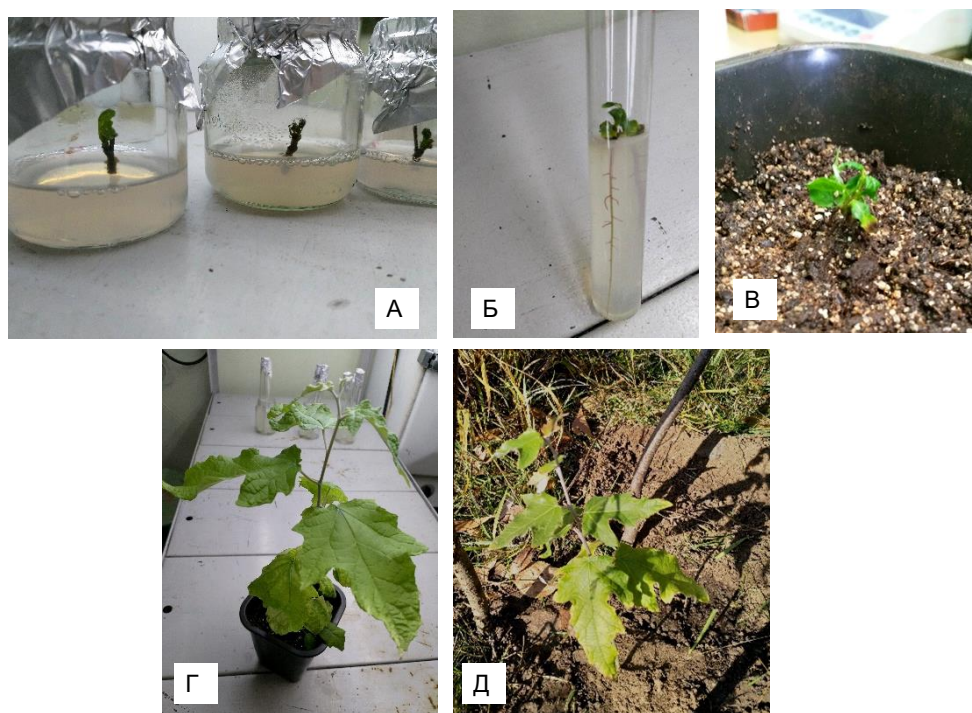


Рисунок 3 - Этапы микроклонального размножения мужских особей тополя белого с пирамидальной формой кроны. А- Индукция развития основного пазушного побега на

первичных эксплантах; Б- Укоренение изолированных побегов в условиях *in vitro*; В-Г адаптация растений в почве; Д- высадка полученных клонов в открытый грунт.

1.3 Оценка качества воды в малых реках г. Красноярска

Малые реки являются начальным звеном в формировании гидрологического, биологического и биохимического режимов средних и крупных водотоков. Реки, протекающие в черте городов с развитой промышленностью, испытывают значительную техногенную нагрузку. Ведущей причиной загрязнения водных объектов на урбанизированных территориях является сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод предприятиями. Вследствие небольших объемов стока в малых реках процесс самоочищения протекает медленнее, поэтому длительное антропогенное воздействие часто приводит к деградации водных экосистем и снижению качества воды.

Для оценки качества воды в малых реках г. Красноярска, в качестве тестовых объектов были выбраны четыре реки: Кача, Бугач, Черемушка и руч. Собакина. На реках Кача и Бугач были выбраны 4 створа: у истока, в устье реки и 2 промежуточных. На реке Черемушка выбраны три створа: у истока, в среднем течении, в устье реки. На ручье Собакина выбраны 2 створа: в устье ручья и в среднем течении. Отбор проб воды на выбранных створах ре проводился 17 и 24 сентября 2019 года. Отбор образцов воды производился в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000. В образцах воды было проведено определение следующих показателей: хлора, сульфатов, фтора, фосфатов, нитратов, никеля, алюминия, железа, меди, брома, марганца, хрома. Результаты химического анализа речной воды представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты количественного химического анализа проб воды

Показатель	Предельно допустимое значение в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/дм ³	р. Кача				р. Бугач				р. Черемушка			руч. Собакина	
		Исток, п. Памяти 13 борцов (56,203017 с.ш., 92,309527 в.д.)	Нижне Емельяново, «Емельяновская слобода» (56,153525 с.ш., 92,751266 в.д.)	Ул. Брянская 140/3 (56,028182 с.ш., 92,838682 в.д.)	Устье, «Академия музыки и театра» (56,016478 с.ш., 92,889952 в.д.)	Исток, п. Минино, ул. Цветочная 55 (56,048054 с.ш., 92,569127 в.д.)	Вход в оз. Мясокомбинат, ул. Гросовцев (56,059887 с.ш., 92,710504 в.д.)	Ул. Калинина 96а, ул. Бийхемская (56,050304 с.ш., 92,767044 в.д.)	Устье, Маерчака 50 (56,031958 с.ш., 92,831636 в.д.)	Исток, п. Старцево (56,162101 с.ш., 92,971716 в.д.)	Ул. Кразовская 13/2 (56,111062 с.ш., 93,008964 в.д.)	Устье ТЭЦ-3, (56,117067 с.ш., 93,119938 в.д.)	Исток, п. Удачный, Лес (55,991292 с.ш., 92,649799 в.д.)	Устье, п. Удачный, ул. Лесная (55,976310 с.ш., 92,662588 в.д.)
Хлор, мг/дм ³	350	1,4404	4,8308	17,7533	16,1935	16,1302	32,6503	58,9318	55,5892	16,8961	171,8206	91,6179	1,0897	1,2036
Сульфаты, мг/дм ³	500	8,3284	28,1086	55,9512	47,6088	16,0055	42,9105	103,5106	123,8154	45,1017	39,4415	43,9059	9,0040	13,5513
Никель, мг/дм ³	0,02	-	0,0013	0,0013	0,0016	-	0,0013	0,0015	0,0021	0,0019	0,0086	0,0027	-	-
Алюминий, мг/дм ³	0,5	0,0214	-	-	-	-	-	0,0097	-	0,0158	-	0,0711	-	-
Фтор	1,5	0,0803	0,1802	0,1761	0,1435	0,1139	0,2067	0,2098	0,2190	0,8949	0,3800	2,5236	0,1783	0,1831
Фосфаты, мг/дм ³	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1815	10,1492	-	0,3762
Железо (раств. форма), мг/дм ³	0,3	0,041	0,018	0,045	0,029	0,018	-	0,054	0,019	0,097	0,153	0,125	0,018	0,022
Медь, мг/дм ³	1,0	-	-	-	-	-	0,0018	-	-	-	0,0126	0,0117	-	-
Бром, мг/дм ³	0,2	-	-	0,3540	-	-	-	0,4647	0,4164	0,4636	0,7569	0,3828	-	-
Марганец, мг/дм ³	0,1	0,0009	0,0137	0,0072	0,0146	0,0041	0,0323	0,0584	0,0897	0,0826	0,2574	0,1589	0,0122	0,0006
Хром общий, мг/дм ³	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0012	-	-	-
Нитраты, мг/дм ³	45	0,4161	1,6229	5,3989	5,4392	19,0800	19,3415	3,1997	14,0557	1,6383	4,1305	0,6188	0,6522	0,7288

Предварительный анализ данных по химическому составу воды в малых реках показал, что в трех малых реках концентрация определяемых показателей в воде не превышает ПДК для вод для питьевых и рыбохозяйственных нужд (ГН 2.1.5.1315-03). Однако, обращает на себя внимание более высокое содержание в воде реки Бугач в среднем течении и устье таких ионов как хлор, сульфаты, фосфаты. Вода в реке Черемушка относительно чистая только в ее истоке. В среднем течении вода в реке очень загрязнена, кажется очень темной, имеет сильный запах, очень медленно фильтруется и после фильтрования вода имеет желтый цвет. Концентрация фосфатов в воде превышает ПДК в 2,6-2,9 раза, что может свидетельствовать о загрязнении воды промышленными стоками и стоками с объектов сельскохозяйственного назначения. В устье реки в воде концентрация фтора в 1,7 раза превышает ПДК.

Таким образом, проведенный химический анализ воды в малых реках, впадающих в Енисей, показал, что наиболее высокий уровень загрязнения воды наблюдается в среднем и нижнем течении реки Черемушка. Вода в реках Кача, Бугач, ручье Собакина по основным показателям не превышает ПДК для вод питьевого и хозяйственного назначения.

1.4 Оценка состояния орнитофауны на территории г. Красноярска

Экологическое своеобразие отдельных городских местообитаний отразилось в видовом разнообразии и плотности населения птиц (таблица 6). Видовая насыщенность орнитокомплексов г. Красноярска изменяется в довольно широких пределах (от 11 до 100).

Наименьшее количество видов зафиксировано на территориях объектов инженерной и транспортной инфраструктуры (11 – в гнездовой и 5 видов в зимний период). Однако индексы разнообразия имеют здесь достаточно высокие значения, что указывает на устойчивость данных сообществ (Симпсона – 0,68, Шеннона – 2,1, Пиелу – 0,6) (рисунок 4). Наибольшая численность и плотность птиц, как в гнездовой, так и в зимний периоды характерна для многоэтажной жилой застройки. Основной вклад вносят такие типичные синантропы, как сизый голубь, большая синица, домовый воробей, белопоясный стриж.

В городской речной и природной рекреациях отмечено наибольшее видовое разнообразие: в гнездовой период 97 и 100 видов, в зимний – 41 и 40 видов соответственно. Это, по-видимому, объясняется высокой мозаичностью данных местообитаний и сохранением естественных фитоценозов. Индексы разнообразия в них также характеризуются наибольшими величинами (в гнездовой период: Симпсона – 0,81–

0,93, Шеннона – 3,03–4,75). Индекс Пиелу в природной рекреации имеет максимальную величину – 0,71, что указывает на выравненность орнитокомплекса.

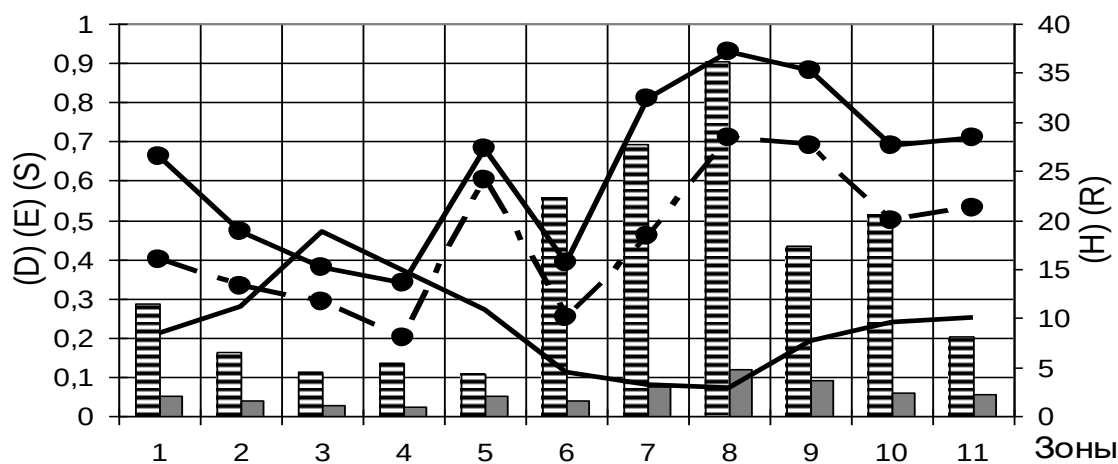
Таблица 6 – Влияние сезона и местообитания на население птиц

Местообитание	Летний (гнездовой) период	Зимний период
	общее кол-во видов; плотность (особей/км ²); виды-доминанты (особей/км ²)	общее кол-во видов; плотность (особей/км ²); виды-доминанты (особей/км ²)
Городская застройка:		
одноэтажная жилая	38; 1595; домовый воробей (1100), полевой воробей (300)	31; 2783,1; домовый воробей (1850), полевой воробей (650)
многоэтажная жилая	25; 4070; домовый воробей (1450), сизый голубь (1050), белопоясный стриж (600)	35; 6847; большая синица (2500), домовый воробей (2230), сизый голубь (1203).
общественно-деловая	15; 1379; домовый воробей (560), сизый голубь (500), белопоясный стриж (400), маскированная трясогузка (180)	16; 5534; большая синица (2140), домовый воробей (1810); сизый голубь (1200)
промышленная	19; 2142; сизый голубь (950), полевой воробей (530), маскированная трясогузка (280)	19; 4267; большая синица (1780), домовый (1450) и полевой воробьи (650)
объекты инженерной инфраструктуры	11; 215; маскированная трясогузка (110), белопоясный стриж (50), сизый голубь (22), воронок (22,1)	5; 896; большая синица (505), домовый воробей (370)
Рекреационная зона:		
лесопарковая	69; 1103; сизый голубь (360), полевой воробей (230), домовый воробей (180), белопоясный стриж (120)	34; 412; домовый воробей (97), бородатая куропатка (80), сизый голубь (40)
речная	97; 2834; береговая ласточка (2100); белопоясный стриж (400)	41; 2471; краквя (2000)
природная	100; 553; полевой воробей (110), зяблик (70,5)	40; 277; обыкновенная чечетка (88), буроголовая гаичка (45)
Садово-огородная зона	41; 200; полевой воробей (34,5), рябинник (25,5), белопоясный стриж (20)	36; 216; обыкновенная чечетка (88), сорока (16,5), буроголовая гаичка (20)
Зона специального назначения:		
кладбища	29; 93; сизый голубь (28), полевой воробей (16,8)	9; 33; обыкновенная чечетка (14,6)
свалки	17; 88; полевой воробей (60), сизый голубь (10)	9; 311; черная ворона (280)

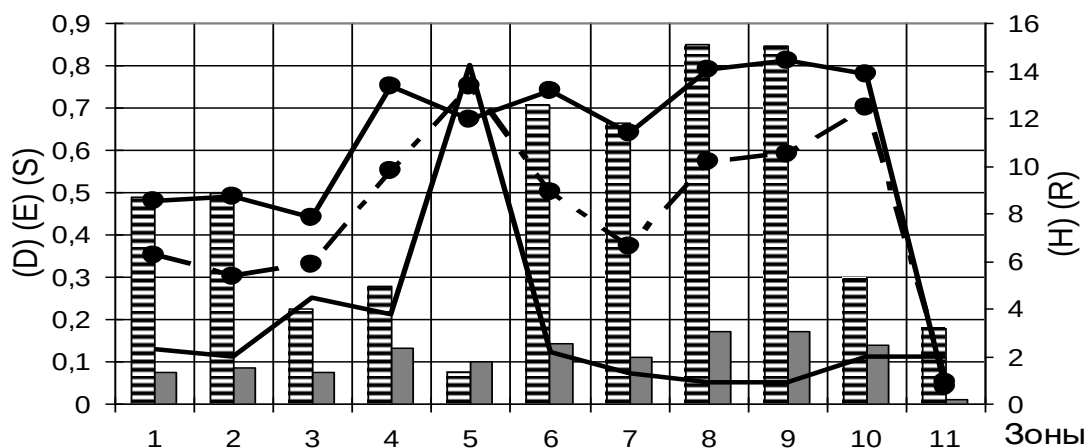
Полученные результаты подтверждают известную закономерность – видовое богатство и разнообразие увеличиваются с увеличением пространственной гетерогенности местообитаний (Юдкин, 2000; MacArthur et al., 1966; Rpth, 1976; Martin, 1988). Наибольшая степень сходства с естественными местообитаниями отмечается в зоне

природной рекреации (0,97), наименьшая – в зоне инженерно-транспортной инфраструктуры (0,56).

При расчете индекса синантропизации использовалась следующая группа синантропных видов: сизый голубь, белопопый стриж, деревенская ласточка, ворон, домовый и полевой воробьи, маскированная трясогузка, обыкновенная горихвостка, большая синица. Самые низкие значения данного индекса характерны для рекреационной зоны (0,05–0,08), которая характеризуется максимальным разнообразием орнитофауны, наибольшие значения получены в гнездовой период для зоны общественно-деловой застройки (0,47), а в зимний период – инженерной инфраструктуры (0,8).



а



б



Рисунок 4– Изменение параметров биоразнообразия сообществ птиц г. Красноярска: а – гнездовой период; б – зимний период

Установлено, что стабильность и уровень биомассы птиц не всегда линейно сопряжены с их видовым разнообразием (таблица 7). Наибольшая биомасса орнитофауны отмечена в зоне многоэтажной жилой застройки – 407,4 кг/км² в гнездовой период и 601,0 кг/км² – в зимний, от 70 до 72% ее приходится на сизого голубя. Разница по численности, плотности, биомассе птиц и количеству трансформируемой ими энергии между различными типами местообитаний отличается высокой степенью достоверности (P>0,99...0,999).

На территории города удовлетворение энергетических потребностей птиц в гнездовой период в основном происходит за счет беспозвоночных (35–86%), в меньшей мере – за счет семян и плодов. Значение первых возрастает с увеличением численности ласточек, трясогузок, значение вторых – с увеличением численности черноголового щегла, коноплянки, сизого голубя, воробьев. В зимний период основу питания многих видов городских птиц составляют корма антропогенного происхождения (до 95%).

Таблица 7 – Численность, биомасса и биоэнергетика населения птиц в гнездовой период

Местообитание	Численность, особей/км ²	Биомасса, кг/км ²	Трансформируемая энергия				
			всего, тыс. ккал/сут.·км ²	в том числе за счет, %			
				зелени	семян, плодов	беспозвоночных	позвоночных
Зона городской застройки:							
одноэтажная жилая	1595,3±66,2	50,6±6,3	20,1±2,4	8,5	22,0	64,2	0,6
многоэтажная жилая	4070,0±370,4	407,4±28,1	142,0±11,9	9,0	40,3	50,2	0,5
общественно-деловая	1379,3±47,0	179,0±21,7	53,1±9,1	5,0	59,0	35,0	1,0
промышленная	2142,5±88,2	303,8±19,2	93,6±13,2	5,0	45,0	49,0	1,0
объекты инженерной и транспортной инфраструктуры	215,0±25,3	12,3±2,8	5,5±1,6	2,6	26,5	70,4	0,5
Рекреационная зона:							
лесопарковая	1103,0±40,1	129,0±13,3	42,4±8,4	12,0	18,5	68,3	1,2
речная	2834,2±210,5	363,5±22,6	75,0±9,6	4,6	7,9	86,0	1,5
природная	553,0±19,8	31,7±3,5	14,5±2,3	3,0	10,5	83,5	3,0
Садово-огородная зона							
	200,0±28,3	13,7±2,8	5,9±2,0	4,5	15,0	81,0	0,5
Зона специального назначения:							
кладбища	93,5±19,2	15,0±5,7	4,3±1,8	9,0	18,5	72,3	0,2
свалки	88,2±26,7	9,4±3,1	3,1±1,1	7,5	26,5	64,0	2,0

1. По биотопической приуроченности доминируют дендрофильные виды (45,4–73,2%). Лимнофильная группировка наиболее широко представлена в городской речной и природной рекреациях. Основная часть птиц (67,8%) строит гнезда на древесно-кустарниковой растительности.

2. В городских местообитаниях с увеличением антропогенной преобразованности ландшафта достоверно возрастает численность и биомасса птиц, в основном за счет синантропных видов, при этом резко снижается видовое разнообразие орнитофауны.

3. В орнитофауне г. Красноярска из 114 постоянно встречающихся видов к облигатным синантропам относятся 7,9%, факультативным – 11,4%, пассивным – 80,7%.

4. К основным антропогенным факторам, отрицательно влияющим на численность большинства видов птиц на территории г. Красноярска, относятся – обрезка деревьев, облагораживание берегов р. Кача, неравномерный сброс воды из Красноярского водохранилища, проведение фейерверков и световых лазерных шоу, постройка ЛЭП, вырубка кустарников и старых дуплистых деревьев, освоение пустошей, замена естественной травянистой растительности на газонную, увеличение численности бродячих собак.

2 Алгоритм распределения квот выбросов парниковых газов между источниками их выбросов в мегаполисе

В каждом достаточно большом городе имеются источники выбросов вредных для здоровья парниковых газов (заводы, ТЭЦ, котельные и т. п.).

Оставляя в стороне вопросы о принятии мер для уменьшения объема выбросов этих газов на каждом источнике, остановимся на проблеме распределения их квот между источниками с целью создания наиболее комфортного состояния атмосферы в городской среде. Основные факторы, которые при этом будем учитывать, – степень вредности выбросов газов любого источника и количество населения, проживающего вблизи санитарно-защитной зоны. Рассмотрим алгоритм распределения квот выбросов между источниками, демонстрирующий возможный способ минимизации объема наиболее вредных веществ в атмосфере города.

Введем обозначения: $N > 2$ – число источников выбросов вредных газов, расположенных в городе; V – определенное допустимое количество выбросов (в весовых

единицах) всех источников за единицу времени. С математической точки зрения это означает разбиение на сумму величины

$$V = \sum_{k=1}^N V_k \quad (1)$$

где V_k – количество выбросов для источника с номером k .

В каждой санитарной зоне, окружающей тот или иной источник, обычно устанавливают контрольные приборы для измерения плотности, «концентрации» выбросов, т.е., например, количества вредных веществ в весовых единицах в единице объема воздуха или концентрации наиболее токсичного газа.

Пусть S_k – площадь санитарно-защитной зоны источника с номером k , где $k = 1, 2, \dots, N$,

$$S = \sum_{k=1}^N S_k \quad (2)$$

– общая площадь всех санитарно-защитных зон (считаем, что они не пересекаются).

Полагаем

$$c = V/S, \quad c_k = V_k/S_k, \quad (3)$$

соответственно, среднее количество (плотность, «концентрация») выбросов на единицу площади всех зон и для зоны с номером k , где $k = 1, 2, \dots, N$. Для дальнейшего изложения удобно использовать (см. (1)-(3)) безразмерные величины: $s_k = S_k/S$ (доля площади в зоне с номером k),

$$\lambda_k = c_k/c, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

(безразмерные плотности выбросов на единицу площади для всех зон). Множество их допустимых значений определяется соотношением (см. (2), [1]):

$$\sum_{k=1}^N \lambda_k s_k = 1, \quad (5)$$

где

$$s_k = S_k/S, \quad \sum_{k=1}^N s_k = 1,$$

причем в предыдущих обозначениях справедлива формула

$$V_k = c \lambda_k S_k = \lambda_k s_k V, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

при любом способе распределения квот выбросов парниковых газов.

Охарактеризуем основные свойства алгоритма распределения квот выбросов между источниками. Алгоритм предназначен для распределения выбросов в ситуации, когда в

городе имеются источники с *различным уровнем* плотности выбросов. Другими словами, предполагается наличие рейтинга вредности газов, содержащихся в выбросах из источников, в направлении уменьшения вредности для здоровья состава этих газов (см. (3))

$$0 < c_1 < c_2 < \dots < c_N. \quad (7)$$

С этим неравенством ассоциируется и нумерация источников, в частности, номер 1 у источника с наиболее вредным для здоровья содержанием выбросов, а номер N у источника с наиболее комфортным его содержанием.

Из (7) в обозначениях формулы (4) находим

$$0 < \lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_N. \quad (8)$$

Под *оптимальным* распределением квот выбросов допустимого количества выбросов всех источников за фиксированный период времени, зависимо от погодных условий (сутки, неделя, месяц и т. д.), понимаем их *справедливое* распределение между источниками по отношению к жителям санитарных зон с различной «концентрацией» вредных примесей в их атмосфере. Для описания алгоритма оптимального распределения квот выбросов между источниками предлагается руководствоваться следующими принципами.

1. *Принцип пропорциональности внутри однородной группы.*

Если имеются источники с приблизительно одинаковой плотностью, их можно объединить в одну группу. Распределение квот выбросов между ними происходит пропорционально площадям их санитарных зон.

2. *Принцип минимизации квадратичного функционала, зависящего от разностей плотностей выбросов для смежных по рейтингу источников.*

Квадратичный функционал – естественный аналог среднеквадратичного функционала, широко применяемого в прикладной математике. Исходя из этого принципа рассмотрим целевой функционал:

$$\Phi(\lambda) = \sum_{i=1}^{N-1} (\lambda_{i+1} - \lambda_i)^2 = c^{-2} \sum_{i=1}^{N-1} (c_{i+1} - c_i)^2, \quad (9)$$

зависящий от безразмерных плотностей выбросов на единицу площади для всех зон (см. (3)-(4), (7)). Использование принципа минимизации этого функционала позволит свести к минимуму возможную неудовлетворенность жителей санитарных зон для смежных по рейтингу источников.

Минимум функционала Φ (см. (9)) при условии (5) равен 0 и достигается при $\lambda_i = 1, i = 1, 2, \dots, N$. Это означает, что распределение квот выбросов между источниками происходит пропорционально площади их санитарных зон. Это неприемлемо при наличии рейтинга между источниками (см. (7), (8)). Чтобы этого избежать, для оптимизации параметров математической модели распределения выбросов при условии (8) (при наличии рейтинга «престижности» источников) введем

3.

Принцип

управления (линейное соотношение между плотностями выбросов источников).

Например, это может быть степень комфортности плотности выбросов наиболее «благополучного» источника по отношению к плотности выбросов источника с самым токсичным их содержанием, выражаемая с помощью равенства

$$\lambda_1 / \lambda_N = c_1 / c_N = \gamma. \quad (10)$$

Здесь γ – фиксированное число из интервала $(0, 1)$, имеющее явно выраженный медицинский смысл: его обратная величина $1/\gamma$ показывает степень

комфортности «концентрации» выбросов источника с номером N по отношению к аналогичному параметру источника с номером 1. В конкретном городе это число γ может быть предложено специалистами после анализа содержания выбросов, источники которого в нем расположены.

Оптимальный выбор значений безразмерных плотностей выбросов для всех источников определяется с помощью решения следующей экстремальной задачи (см. задачу А в [1])

Найти значения параметров $\lambda_i = \lambda_i^, i = 1, 2, \dots, N$, при которых достигается минимум функционала Φ (см. (9)) при выполнении соотношений (5), (8) и дополнительного условия (10).*

Решение задачи. Пусть в обозначениях формулы (5)

$$P_j = \sum_{i=j+1}^N s_i, \quad Q_j = \sum_{i=1}^j s_i, \quad j = 1, \dots, N-1; \quad \|X\|^2 = \sum_{j=1}^{N-1} X_j^2.$$

Тогда следующие равенства дают решение задачи:

$$\lambda_1^* = \gamma \sum_{j=1}^{N-1} \frac{K_j}{\|K\|^2}, \quad \lambda_j^* = \lambda_{j-1}^* + (1-\gamma) \frac{K_{j-1}}{\|K\|^2}, \quad j = 2, \dots, N, \quad (11)$$

где $K_j = P_j + \gamma Q_j, \quad j = 1, \dots, N-1$ (см. следствие 2 в [1]).

Ее решение позволяет сформулировать алгоритм оптимального распределения квот выбросов (см. следствие 1 в [1]).

Оптимальные квоты выбросов $\{V_k\}$ (см. (1)), рекомендуемые для источников с номерами $k = 1, 2, \dots, N$, определяются равенством (6), где параметры $\lambda_k = \lambda_k^$, $k = 1, \dots, N$ представляются формулой (11).*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты первого этапа исследований связанных с решением экологических проблем краевого центра следует рассматривать как необходимую основу для обоснования архитектурно-планировочных решений и формирования экологического каркаса зеленых насаждений с учетом степени и характера загрязнения территории города промышленными выбросами. Изучение загрязнения снежного покрова города Красноярска свидетельствует о наличии районов с низким (региональным фоновым) уровнем пылевой нагрузки, расположенных в западной и юго-западной частях города. Высокий уровень пылевой нагрузки, в 80 раз превышающий фоновый уровень, приходится на территорию размещения предприятий АО «РУСАЛ Красноярск», ООО «КраМЗ», АО «Красноярской ТЭЦ-3». Проведено определение ионного состава фильтрата снеговой воды и рассчитана плотность выпадения ионов на территорию города. Наибольшие различия отмечены для потоков поступления ионов алюминия, водорастворимого фтора, никеля. Ореолы повышенных величин притока данных ионов приходились на район размещения предприятий АО «РУСАЛ Красноярск», ООО «КраМЗ», АО «Красноярская ТЭЦ-3».

В 2019 году исследования снежного покрова проводилось на 10 мониторинговых пунктах в разных районах города. Установлено, что для рекреационно-парковой зоны величина пылевой нагрузки практически соответствует уровню 2018 года. Для транспортно-селитебной и промышленно-транспортной отмечена тенденция к увеличению поступления пыли на единицу площади, что может быть обусловлено с небольшой высотой снежного покрова в городе и особенностью ветрового режима в зимний период. Плотность выпадения ионов водорастворимого алюминия на всех мониторинговых пунктах возросла в 1,5-5,9 раз, тогда как плотность поступления водорастворимого фтора на территории города стала меньше в 1,4-7,3 раза по сравнению с 2018 годом, что вероятно связано с изменением технологии выплавки металлов на алюминиевом заводе.

Наряду с мерами, направленными на снижение выбросов загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников и оптимизацию транспортных потоков, важным инструментом регулирования и улучшения качества городской среды является создание сбалансированной системы экологического каркаса города. Зеленый каркас города способен регулировать и минимизировать неблагоприятное антропогенное воздействие на здоровье человека, в том числе путем создания комфортной среды для проживания и досуга (Климанова и др. 2018). Проведено обследование жизненного состояния зеленых

насаждений на 8 мониторинговых объектах в различных районах города. Всего обследовано более 2000 деревьев. Визуальная оценка состояния деревьев по характеристике кроны показала, что из 8 обследованных объектов самый высокий индекс жизненного состояния имеют насаждения сквера Слобода весны (75,9%), в котором в 2018 году была проведена реконструкция и сквера «Одесский» (73%) с довольно широким ассортиментом древесных видов и хорошим постоянным уходом за территорией. Сильно ослабленные насаждения произрастают в непосредственной близости от алюминиевого завода в пределах его санитарно-защитной зоны (п.37 и п.36) индекс их состояния равен соответственно 46,8 и 47,7%. Здоровые деревья в этих насаждениях составляют 2-8%, усыхающие и сухостой – 18%. Состояние насаждений на остальных обследованных территориях характеризуется как ослабленное индекс жизненного состояния варьирует в пределах 54,0-69,4%.

Помимо парков, скверов и других озелененных территорий города средостабилизирующие функции выполняют городские и пригородные леса, которые с одной стороны являются источником притока чистого воздуха на его территорию, с другой стороны являются местом отдыха горожан. Исходя из этого летом 2019 года проведена оценка состояния «Березовой рощи» Академгородка. Было заложено 7 пробных площадей, на которых было обследовано 1168 деревьев. Среди обследованных деревьев только 4% составляют здоровые деревья, 32% деревьев ослаблены, 50% сильно ослаблены, 14% деревьев относятся к категории усыхающих и сухостойных. Доля деревьев со структурными изъянами составляет 7%. Индекс жизненного состояния всех обследованных деревьев равен 47,3%, что соответствует категории сильно ослабленного насаждения. Проведена инвентаризация флористического состава травяного покрова березняков (разнотравного и осочково-разнотравного) и сосняков (разнотравного, разнотравно-вейникового и зеленомошно-осочково-разнотравного) лесного массива «Березовая роща». Для этого насаждения срочно необходима разработка мероприятий по его реабилитации и восстановлению этого уникального объекта.

В отчетный период начата работа по созданию ГИС экологического состояния природно-территориальных комплексов г. Красноярска и его окрестностей с целью накопления, формализации и структуризации сведений и знаний, и дальнейшей разработки научных основ экоурбанистики в условиях Сибири. С применением программных средств ArcMap создана цифровая карта лесного массива «Березовая роща» (с планом ее расширения до масштаба ГИС пригородной зоны г. Красноярска).

Проведено рекогносцировочное определение качества воды в малых реках г. Красноярска, в качестве тестовых объектов были выбраны Кача, Бугач, Черемушка и руч.

Собакина. Химический анализ воды в малых реках, впадающих в Енисей, показал, что наиболее высокий уровень загрязнения воды наблюдается в среднем и нижнем течении реки Черемушка. Качество вода в реках Кача, Бугач, ручье Собакина по основным показателям не превышает ПДК для вод питьевого и хозяйственного назначения.

Проведены учётные работы по выявлению видового состава и численности птиц в различных условиях местообитаний г. Красноярска, с разной степенью загрязнённости и плотностью населения. Выявлены зависимости плотности населения птиц от плотности населения людей. Актуализированы данные по населению птиц промышленной зоны города.

Предложен математический способ распределения квот выбросов парниковых газов между их источниками в мегаполисе.

Проведенные исследования позволяют зонировать территорию города по степени и характеру загрязнения, что необходимо для принятия обоснованных архитектурно-планировочных решений и разработки стратегии зеленого строительства обеспечивающих комфортные условия проживания населения в крупном мегаполисе каковым является г. Красноярск.

Дальнейшие исследования по проекту необходимо сосредоточить на разработке критериев оценки комфортности городской среды с учетом характера пространственно-временного загрязнения атмосферного воздуха, а также создания условий компенсирующих воздействия негативных факторов. Такие критерии должны учитывать классы опасности загрязняющих веществ динамические характеристики загрязнения, наличие и тип объектов смягчающих влияние неблагоприятных факторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев, В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / Лесоведение. 1989. №4. С. 51–57.
2. Бакулин В. Т. – Тополь белый в Западной Сибири. Нсб, академическое изд-во «Гео», 2012.
3. Бадмаева С.Э. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха городов Красноярского края /С.Э Бадмаева, В.И Циммерман.// Вестник КрасГАУ. -2015. - № 2. – С.27-32.
4. Василенко, В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова/В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман,/- Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 182 с.
5. Временные методические указания по проведению комплексной экологической оценки состояния атмосферного воздуха большого города. Введены в действие 25.12.1995. № 11-02/02-594.
6. Галькова Е.А., Маергойз Л.С. Оптимизационная математическая модель двухуровневого распределения ограниченного ресурса между группами людей. // Экономика и математические методы, **51**:3 (2015), 109-116.
7. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году» - Красноярск.: – Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края КГБУ «ЦРМП и ООС», 2017. – 286 с.
8. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2017 году» - Красноярск.: – Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края КГБУ «ЦРМП и ООС», 2018. – 301 с.
9. Демиденко Г.А. Оценка антропогенного загрязнения снежного покрова левобережья г. Красноярска/Г.А. Демиденко, Д.С. Владимирова// Вестник КрасГАУ. - 2014. - №9. - С.120-124
10. Игнатенко О.В. Зонирование селитебной территории г. Братска по уровню загрязнения снежного / О.В. Игнатенко, М.В. Сенченко, Н.А. Мещерова – Системы. Методы. Технологии. - 2012. - № 3 (15). - р.138-149.
11. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура,

территориальное планирование и проблемы развития /Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т.63. Вып. 2 . С. 127-146.

12. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций алюминия, бария, бериллия, ванадия, железа, кадмия, Кобальта, лития, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, олова, свинца, селена, стронция, титана, хрома, цинка в природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией "МГА-915". Москва, 2009. 35 с.

13. Красноярск. Экологические очерки / Р.Г. Хлебопрос, О.В. Тасейко, Ю.Д. Иванова, С.В. Михайлюта. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. – 130 с.

14. Машкина О.С. Методические рекомендации по выращиванию посадочного материала сортов тополя сереющего с использованием технологии *in vitro* / О.С. Машкина, А.И. Сиволапов, Т.М. Табацкая; Воронеж. гос. лесотех. акад. – Воронеж, 2011.- 30 с.

15. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове. / - Москва: ИМГРЭ, 1990. 16 с.

16. Онучин А.А. Загрязнение снежного покрова в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района /А.А.Онучин, Т.А. Буренина, О.Н.Зубарева, О.В. Трефилова, И.В. Данилова // Сибирский экологический журнал. – 2014. - № 6. – С. 1025-1037

17. Онучин А.А.. Индикация загрязнения окружающей среды промышленными выбросами в Арктических широтах /А.А.Онучин, Т.А. Буренина, Данилова И.В., Зубарева О.Н. // сборник статей по материалам научн.-практ. конф. с Межд. участием. – Севастополь. - 2017. – С. 1003-1006.

18. Перевозникова, В.Д., Зубарева О.Н. Геоботаническая индикация состояния пригородных лесов (на примере г. Красноярска)/ Лесоведение, 2002. – 1. – С.3

19. Поликанова С.А., Таловская А.В Снежный покров как индикатор загрязнения атмосферного воздуха в окрестностях алюминиевого завода г. Красноярска /С.А. Поликанова, А.В. Таловская// Роговские чтения: проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии урбанизированных территорий. Материалы Всерос. конф. с межд. участием. - Томск, Издательство Томского государственного архитектурного университета, 2015. – С. 312-316.

20. Поликанова С.А. Эколого-геохимическая обстановка в окрестностях алюминиевого завода г. Красноярска по данным изучения снегового покрова : Магистерская диссерт.,- Томск. – 2016. – 102 с.
21. Сороковикова Л.М. Химический состав снеговых и речных вод юго-восточного побережья оз. Байкал. / Л.М. Сороковикова, В.Н. Синюкович, О.Г. Нецветаева, И.В. Томберг, Н.П. Сезько, И.В. Лопатина //Метеорология и гидрология . – 2015. - №5. – С. 71-83.
22. Стримжа, Т.П. Оценка атмосферного воздуха города Красноярска по снеговому покрову/Т.П. Стримжа, М.В. Неустроева, О.Ю. Перфилова А.И. Фертников//Вестник Красн. Госуд. Педпгогич. Унив. Им. В.П. Астафьева. – 2012 - № 3. - С.319-327
23. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Томск, 2006. – 47 с.
24. Siudek P., Frankowski M., Siepak J. Trace element distribution in the snow cover from an urban area in central Poland. Environ Monit. Assess, 187:225, 2015.
25. Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S., Vorobyev S.N., Krickov I.V., Manasypov R.M., Politova N.V., Kopysov S.G., Dara O.M., Auda Y., Shirokova L.S., Kolesnichenko L.G., Zemtsov V.A., Kirpotin S.N. Impact of snow deposition on major and trace element concentrations and elementary fluxes in surface waters of the Western Siberian Lowland across a 1700 km latitudinal gradient. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 5725, 2017.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

ПЕРЕЧЕНЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМАТИКЕ ПРОЕКТА В 2019 Г.

Статьи в зарубежных журналах

1. Onuchin A., Kofman G., Zubareva O., Danilova I. Using an Urban Snow Cover Composition-Based Cluster Analysis to Zone Krasnoyarsk Town (Russia) by Pollution Level // Pol. J. Environ. Stud. Vol. 29, No. 6 (2020), P. 1-11.

2.

Статьи в отечественных журналах:

1. **Зиязов Д.С.** Экономические механизмы борьбы с загрязнением атмосферного воздуха крупных российских городов / Д.С. Зиязов, А.И. Пыжев, Ю.И. Пыжева // Региональная экономика: теория и практика. – 2019. № 10. Т. 17, – С. 1991 – 2008. (РИНЦ) <https://www.fin-izdat.com/journal/region/detail.php?ID=75106>

2. **Кошкарлов А.Д.** Климатогенная динамика фитоценоотического разнообразия в поясе верхней границы леса Западного Саяна за последние четыре тысячи лет / А.Д. Кошкарлов, В.Л.Кошкарлова, И.Ю.Овчинников // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. XXXVII, № 6. (РИНЦ)

3. **Кошкарлов А.Д.** Эколого-географические особенности формирования типов растительности в разных климатических секторах гор Западного Саяна в послеледниковое время / В.Л. Кошкарлова, А.Д. Кошкарлов // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 12-2. (РИНЦ)

4. **Маергойз Л.С.** Способы аналитического продолжения многозначных функций одной переменной. Приложение к решению алгебраических уравнений // Труды Института математики и механики УрО РАН, 2019, № 1.Т 25. С 120-135. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37051098> (РИНЦ, WoS)

5. **Перцовая А.А.** Инвазийный фитопатоген сопровождает уссурийского тполиграфа в лесах Хамар-Дабана / Н.В. Пашенова, А.Д. Демидко, Н.С. Бабичев, А.А. Ефременко, Ю.Н. Баранчиков // Совет ботанических садов стран СНГ при Международной ассоциации академии наук, 2019, Выпуск 12(35).2019 С 82-85. DOI: 10.25791/cbgcis.12(35).973

6. **Тимошкин В.Б.** Заражение птенцов воробынообразных птиц личинками *Trypocalliphora braueri* (Diptera, Calliphoridae) в приенисейской Сибири // Паразитология. 2019. – №2. Т.53. – С. 159-163. DOI: 10.1134/S0031184719020078 (РИНЦ) <https://elibrary.ru/item.asp?id=37528306>

7. **Тимошкин В.Б.** Сравнительная оценка структуры печени диких и синантропных птиц в урбанизированной среде Средней Сибири / А.А. Люто, В.Б. Тимошкин // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». 2019. – Вып. 93. – С. 138–148. (РИНЦ) <https://elibrary.ru/item.asp?id=41139617>

8. **Тихонова Н.А.** Генетическая дифференциация рододендрона золотистого (*Rhododendron aureum* Georgi) по ядерным микросателлитным локусам / Полежаева М.А., Н.А. Тихонова, М.В. Модоров, М.Н. Ранюк, О.С. Корчагина // Генетика. 2019. № 6. Т. 55. С. 714–719. DOI: 10.1134/S1022795419060115 Genetic Differentiation of *Rhododendron aureum* Georgi at Nuclear Microsatellite Loci. Polezhaeva M.A., Tikhonova N.A., Modorov M.V., et al. // Russian journal of genetics. Vol. 55. № 6. PP. 762–766. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37461578>
http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=C3UEbgMFmWkTdyDfJVC&page=1&doc=2 (WoS).

9. **Тихонова Н.А.** Внутри- и межпопуляционная изменчивость продолжительности жизни листьев у *Rhododendron Ledebourii* Pojark. и *Rh. dauricum* L. (Ericaceae Juss.) и ее экологическая обусловленность // Экология. 2019. № 4. С. 255–262. DOI: 10.1134/S0367059719040152 Intra- and Interpopulation Variation of Leaf Life Span in *Rhododendron ledebourii* Pojark. and *Rh. dauricum* L. (Ericaceae Juss.) and Its Environmental Determination. Tikhonova N.A. // Russian journal of ecology. 2019. 50: 4. P. 323–330. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38255342>
http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=C3UEbgMFmWkTdyDfJVC&page=1&doc=1 (WoS).

10. **Тихонова Н.А.** Водоудерживающая способность хвои в популяциях основных лесообразующих видов хвойных в лесах таежной зоны Сибири / Н.А. Тихонова, И.В. Тихонова // Изв. высш. учеб. Заведений. Лесной журнал. 2019. № 5. С. 83–94. (lesnoy zhurnal forestry journal). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.83 <https://elibrary.ru/item.asp?id=41227611>(WoS).

11. **Шуклина А.С.** Соматический эмбриогенез видов рода *Pinus* в культуре in vitro / А. С. Шуклина, И. Н. Третьякова // Успехи современной биологии, 2019, том 139, № 2, С. 184–195 (РИНЦ) <https://elibrary.ru/item.asp?id=37201078>

Сборники

Крушлинский В.И. Концепция новой системы рекреационно оздоровительных комплексов в Крыму // Сб. науч. тр. РАСН. Т. 1 – М.: Издательство АСБ, 2019. – 496 с.
DOI: 10.22337/9785432303080

Материалы конференций

1. **Зиязов Д.С.** Экономические аспекты загрязнения атмосферного воздуха российских городов автомобильным транспортом // Материалы XXV Межрегиональной научно-практической конференции студентов и аспирантов экономических специальностей. Сибирский федеральный университет, Институт экономики, управления и природопользования, 2019 г. - С. 116-117. <http://research.sfu-kras.ru/publications/publication/38190836>

2. **Зиязов Д.С.** Экономические методы борьбы с загрязнением атмосферного воздуха автотранспортными средствами. // "ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОНОМИКИ: РЕСУРСЫ И ИНСТИТУТЫ". Материалы VI Международной научной конференции, Красноярск, 9–12 октября 2019 г. С. 48 <http://conf.sfu-kras.ru/iteri-2019/proceedings>

3. **Кошкарров А.Д.** Морфологические особенности женских генеративных органов некоторых видов хвойных как надежные признаки видовой диагностики их ископаемых аналогов при реконструкции динамики климатических трендов / А.Д. Кошкарров, В.Л. Кошкаророва // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: сб. материалов Всерос. конф. с международным участием, 26-31 августа 2019 г. Красноярск. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. – С. 203-205.

4. **Кошкарров А.Д.** Многовековая динамика биоразнообразия лесных экосистем юго-восточной части Эвенкии / А.Д. Кошкарров, В.Л. Кошкаророва // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: сб. материалов Всерос. конф. с международным участием, 26-31 августа 2019 г. Красноярск. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. – С. 206-208

5. **Кошкарров А.Д.** Пространственная и эколого-динамическая особенность эволюции сосновых боров Центрально-тувинской котловины / В.Л. Кошкаророва, Т.А. Буренина, А.Д. Кошкарров // Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения центрально-азиатского региона: Материалы V международной научно-практической конференции (11–15 сентября 2019 года, г. Кызыл, Россия) / Отв.ред. д.филос.н., проф. Хомушку О.М. – Кызыл: ТувГУ РИО, 2019. – С. 71-74.

6. **Крушлинский В.И.** Научные принципы проектирования охраны природы города Красноярска // Региональные рынки потребительских товаров: качество, экологичность, ответственность бизнеса: сб. материалов II Всерос. конф. с международным участием, 24-26 января 2019 г. Красноярск. Красноярск: СФУ, 2019. – С. 42-46. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41138549>
7. **Перцовая А.А.** Особенности работы с культурами возбудителей усыхания ясеня – гриба *Hymenoscyphus fraxineus* / Н.В. Пашенова, А.А. Перцовая, Ю.Н. Баранчиков // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: сб. материалов Всерос. конф. с международным участием, 26-31 августа 2019 г. Красноярск. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. – С. 324-326.
8. **Прысов Д.А.** Динамика стока в горах Западного Саяна в условиях интенсивного лесопользования и меняющегося климата / Т.А. Буренина, Д.А. Прысов, А.В. Мусохранова // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: сб. материалов Всерос. конф. с международным участием, 26-31 августа 2019 г. Красноярск. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. – С. 63-65.
9. **Прысов Д.А.** Зональные аспекты влияния лесистости на формирование речного стока в криолитозоне Средней Сибири // Исследования компонентов лесных экосистем Сибири. Выпуск 16: сб. материалов конкурса-конференции ФИЦ КНЦ СО РАН для молодых ученых, аспирантов и студентов, 11 апреля 2019 г. Красноярск. Красноярск: Институт леса им. В.Н.Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, 2019. – С. 30-31.
10. **Прысов Д.А.** Влияние лесистости на годовой сток северных рек Средней Сибири // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. материалов Всерос. науч. практ. конф. 25-26 апреля 2019 г. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sibsau.ru/scientific-publication/>. <https://www.sibsau.ru/files/16322/>
11. **Прысов Д.А., Зубарева О.Н., Перцовая А.А.** Оценка состояния зеленых насаждений в «Одесском сквере» г. Красноярска // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: сб. статей Международной научно-практической конференции, 18 декабря 2019 г. Красноярск. Красноярск: СибГУ, 2020. – С. 244-246.
12. **Тихонова И.В.** Встречаемость редких аллелей аллозимных маркеров у подростка в популяциях сосны обыкновенной, подверженных разным видам антропогенной нагрузки в Красноярской, Канской и Ачинской лесостепи / И.В. Тихонова, А.К. Экарт, А.Н. Кравченко, Н.А. Тихонова, Д.А. Семенякин // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: сб. материалов

Всерос. конф. с международным участием, 26-31 августа 2019 г. Красноярск. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. – С. 442-445. ISBN 978-5-906740-19-9.
http://forest.akadem.ru/Konf/2019/IF_b/Материалы%20конференции%202019_.pdf

13. **Тихонова И.В.** Изменчивость аллозимов у подроста хвойных видов на вырубках в южной тайге Средней Сибири / И.В. Тихонова, А.К. Экарт, А.Н.Кравченко, Н.А. Тихонова, Д.А. Семенякин // Сохранение лесных генетических ресурсов: Мат. 6-ой Междунар. конф.-совещания. Щучинск: Изд-во «Мир печати», 2019. С. 224-226. ISBN 978-601-7582-85-2. <http://kazniilha.kz/content/6-ya-meghdunarodnaya-konferenciya-soveschanie-sohranenie-lesnyh-geneti>
http://kazniilha.kz/public/files/2019/9/20/200919_095838_sbornik-mat-6-meghd-konf-sovesch-sohranenie-lesnyh-geneticheskikh-resur.pdf

14. **Шуклина А.С.** Особенности культуры микроспорофиллов сосны сибирской (*Pinus sibirica* du tour) in vitro / А.С. Шуклина // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: сб. материалов Всерос. конф. с международным участием, 26-31 августа 2019 г. Красноярск. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. – С. 532-533.

15. **Шуклина А.С.** Особенности индукции соматического эмбриогенеза кедровых сосен / А.С. Шуклина. // Исследования компонентов лесных экосистем Сибири. Выпуск 16: сб. материалов конкурса-конференции ФИЦ КНЦ СО РАН для молодых ученых, аспирантов и студентов, 11 апреля 2019 г. Красноярск. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, 2019. – С. 40-41.

16. **Шуклина А.С.** Индукция андроклинных каллусных культур у сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в условиях in vitro // Материалы VI Всероссийской конференции с международным участием, г. Уфа, 1-4 октября 2019 г. С. 347.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=41117180>

17. **Maergoiz L.** Analytic continuation methods for multivalued functions of one variable and their application to the solution of algebraic equations // XXVIII St. Petersburg Summer Meeting in Mathematical Analysis, Euler International Mathematical Institute, June 25-30, 2019. PP 17 <http://gauss40.pdmi.ras.ru/ma28/img/book2019.pdf>