

*На правах рукописи*



**Колычева Анна Александровна**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРЕДНЕМНОГОЛЕТНЕЙ УРОЖАЙНОСТИ  
ЯГОДНИКОВ В РАВНИННЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

**4.1.6 – Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация,  
озеленение, лесная пирология и таксация**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Москва, 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН).

Научный руководитель: **Чумаченко Сергей Иванович**, доктор биологических наук, доцент, зав. кафедрой «Лесоуправление, лесоустройство и геоинформационные системы» МФ МГТУ имени Н.Э. Баумана; ведущий научный сотрудник ЦЭПЛ РАН

Официальные оппоненты: **Егошина Татьяна Леонидовна**, доктор биологических наук, профессор, зав. отделом экологии и ресурсоведения ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова»

**Шабалина Ольга Михайловна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и природопользования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет (СФУ)

Ведущая организация: Федеральное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ)

Защита диссертации состоится «03» октября 2024 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.228.05, созданного на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», по адресу: 660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50/28, ИЛ СО РАН, конференц-зал. Тел./факс (391) 243-36-86; E-mail: institute\_forest@ksc.krasn.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЛ СО РАН и на сайте ИЛ СО РАН <http://forest.akadem.ru>

Автореферат разослан «...» ... 2024 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
доктор биологических наук, доцент



Гродницкая Ирина Дмитриевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Лесные экосистемы мультифункциональны, то есть выполняют множество экосистемных функций одновременно, и поэтому к основным принципам устойчивого ведения лесного хозяйства относится использование ряда экосистемных услуг на одном лесном участке при сохранении баланса между ними (Millennium..., 2005; Wolfslehner et al., 2019; Pohjanmies et al., 2021). Поиск оптимального совмещения использования нескольких обеспечивающих услуг, к которым относятся заготовка древесины и лесных ягод, обсуждается на мировом уровне (Курлович и др., 2015; Sheppard et al., 2020).

Прогнозы возможных синергии и конфликтов в динамике на длительный период возможны только с применением методов математического моделирования из-за специфичности роста и развития древостоя, оно позволяет выбрать оптимальный способ ведения лесного хозяйства.

Научные исследования и практика прошлых лет показывают, что доход от заготовки лесных ягод в определенных типах леса в несколько раз выше дохода от заготовки древесины (Телишевский, 1986; Недревесная продукция..., 2010). Следовательно, заготовка лесных ягод повышает экономический потенциал лесной отрасли и обеспечивает население экологически чистой продукцией (Поздняков и др., 1978; Большаков, 2014).

На территории России учет ягодников при таксации лесных участков не проводится на должном уровне. Существует проблема нехватки данных о размещении биологических ресурсов дикорастущих ягодников. Используя имитационное моделирование, можно оценить общий потенциал продуктивности и площади ягодных массивов на лесных участках, где произрастают эти растения в объеме достаточном для организации их сбора (Панин, Белов, 2022), пригодных для промышленной заготовки.

Россия имеет перспективы наращивания темпов использования дикорастущих лесных ягод. Для повышения объемов заготовки лесных ягод необходимо решить проблемы нормативного, ресурсного характера, а также методов определения запасов ресурса (Грибов, Грязькин, 2016; Колерова, 2016; Рынок дикоросов, 2021).

**Степень разработанности темы.** Работ по прогнозу урожайности ягодников на длительный срок с применением математической модели и учетом различных лесохозяйственных сценариев с выявлением синергии и конфликтов между такими экосистемными услугами, как обеспечение древесиной и дикорастущими ягодами, в России не проводилось. Основой для определения экологических условий произрастания и прогноза урожайности ягодников являются многолетние исследования Телишевского Д.А., Залесова С.В., Белоноговой Т.В., Егошиной Т.Л., Казанцевой М.Н, Мирьямовой Л.Р., Лузан А.А., Малиновских А.А., Черепанова С.К., Петрова Н.В., Улановой Н.Г., Казакова И.В., Баландиной Т.П., Вахрамеевой М.Г. Курлович Л.Е. и Косицин В.Н. обобщили и систематизировали данные в справочнике (Курлович, Косицын, 2018) зависимости продуктивности ягодников от таксационных показателей древостоев. Существенный вклад в изучение проблемы влияния лесохозяйственных мероприятий (различных видов рубок) внесли

Обыденников В.И., Ключников Л.Ю., Заворыкина К.В., Черкасов А.Ф. Математические модели для прогноза урожая ягод применяли зарубежные авторы: Coudun C., Gegout J., Hynynen J., Ihalainen M., Salo K., Pukkala T., Miina J., Turtiainen M.

Однако, существующие модели и справочники имеют ряд недостатков. В этих трудах не учитывается важный фактор продуктивности ягодников – освещенность на уровне напочвенного покрова. Не рассмотрен подход к определению продуктивности в многовидовых разновозрастных насаждениях, не оценивались взаимосвязи между одновременным обеспечением ягодами и другими продуктами и услугами, что является необходимым при переходе на мультифункциональное лесопользование.

**Цель диссертации** – лесоводственно-экономическая оценка лесных ягодников (черники, брусники, малины) при различных сценариях изменения климата и ведения лесного хозяйства на долгосрочный период методом имитационного моделирования для равнинных лесов (подзоны средней, южной тайги и зоны хвойно-широколиственных лесов) европейской части России.

**Задачи исследования:**

1. Дать анализ подходов к прогнозированию урожайности лесных ягодников и подобрать предикторы производственной продуктивности черники, брусники, малины.
2. Разработать методику оценки урожайности лесных ягодников для многовидовых разновозрастных лесных насаждений с учётом освещённости на уровне напочвенного покрова.
3. На основе предложенной методики разработать блок моделирования урожайности лесных ягодников, как составной части модели FORRUS-S.
4. Дать прогноз динамики урожайности лесных ягодников на 100 лет при различных сценариях изменения климата и ведения лесного хозяйства на модельных участках с учетом совмещения заготовки древесины и ягод на одном участке.
5. Провести экономическую оценку ягодников в зависимости от пространственных и таксационных характеристик лесного участка.

**Научная новизна.** Разработана оригинальная методика прогнозирования урожайности лесных ягодников (черника, брусника, малина), которая включает освещенность на уровне напочвенного покрова в многовидовых разновозрастных насаждениях.

На основе имитационного моделирования даны прогнозы урожайности лесных ягодников в равнинных лесах европейской части России (подзоны средней, южной тайги и зоны хвойно-широколиственных лесов) при различных сценариях изменения климата (RCP 4,5; RCP 6,0; RCP 8,5) и ведения лесного хозяйства (выборочные рубки, сплошные рубки, рубки ухода и лесовосстановление). Проведена оценка связей между объемом заготовки древесины и урожайностью лесных ягодников на долгосрочный период (100 лет).

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Представленный подход перехода от полноты насаждения к освещенности на уровне напочвенного покрова при прогнозе урожайности лесных ягодников повышает точность расчетов

и позволяет проводить прогноз в многовидовых разновозрастных насаждениях с наличием подроста и подлеска.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанный модельный подход может быть применен для прогноза урожайности лесных ягодников на территории лесничеств европейской части России (подзоны средней, южной тайги и хвойно-широколиственных лесов) и определения возможных объемов заготовки пищевых ресурсов при выборе сценария ведения лесного хозяйства на долгосрочную перспективу.

Развиваемые подходы использованы при реализации трех проектов: (1) международного проекта FP7 ERA-Net Sumforest-POLYFORES при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61618X0101) (2) проекта IKEA SUPPLY AG 2020-21 Multi-target forest use: economic benefits and ecological, social responsibility. Design of optimal regime of multiple forest use at forest assessment site level. (3) проекта ООО «Ответственное управление лесами» (представитель FSC) «Расчет динамики запасов углерода, а также эмиссии углекислого газа в лесных экосистемах при разных сценариях использования лесов».

**Методология и методы исследования.** В диссертационной работе используется анализ параметров, определяющих урожайность лесных ягодников. Произведен статистический анализ зависимости урожайности черники, малины, брусники от освещенности в различных типах лесорастительных условий и для древостоев разного возраста. Прогноз продуктивности лесных ягодников выполнен средствами имитационного моделирования модели FORRUS-S (Чумаченко, 1993, 2006 а). Анализ взаимосвязей обеспечивающих экосистемных услуг заготовки древесины и урожайности лесных ягод проведен методом регрессионного анализа. Экономическая оценка производственной продуктивности ягодников выполнена по методике подбора участков для заготовки ягод (Методика подбора..., 1986) с использованием ГИС.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. При прогнозе урожайности ягодников в многовидовых разновозрастных лесных насаждениях необходимо учитывать освещенность напочвенного покрова как один из основных лимитирующих факторов продуктивности.
2. Выбор оптимальных сценариев ведения лесного хозяйства (выборочные рубки, сплошные рубки, рубки ухода и лесовосстановление) позволяет обеспечить совместную заготовку древесины и лесных ягод, при которой отсутствуют конфликты и наблюдается синергия между этими двумя обеспечивающими услугами.
3. Заготовка лесных ягод увеличивает доходность с лесного участка до 29% в зависимости от пространственных и таксационных характеристик лесного участка.

#### **Степень достоверности и апробация результатов исследования.**

Достоверность обеспечивается верификацией работы блока «Пищевые ресурсы» модели FORRUS-S по данным многолетних наблюдений, зафиксированных в летописях природы Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника и заповедника «Брянский лес».

Основные результаты работы были представлены и обсуждены на семинарах ЦЭПЛ РАН (Москва, 2017–2022), VII Всероссийской конференции (с международным участием) «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии» (Москва, 2019), Седьмой Национальной научной конференции с международным участием «Математическое моделирование в экологии» (ЭКОМАТМОД) (Пушино, 2021), V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экология и управление природопользованием» (Томск, 2022), Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН «Научные основы устойчивого управления лесами» (Москва, 2022), II международной школе-конференции молодых ученых «Лесная наука, молодежь, будущее – 2021» (Республика Беларусь, г. Гомель, 2021), Международной научно-практической конференции «Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства» (Киров, 2022), XXI Международной конференции молодых учёных «Леса Евразии – Большой Кавказ» (Махачкала, 2022), Ежегодных национальных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ (Мытищи, 2018–2023).

**Личный вклад автора.** Автор принимал непосредственное участие в получении исходных данных и научных экспериментах, разработке блока компьютерной модели, проведении модельных экспериментов, статистическом анализе и интерпретации результатов.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых журналах, включенных в «Перечень...» ВАК Российской Федерации, 4 статьи, индексируемые в международных базах данных (Scopus, Web of Science), 1 монография.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения; четырех глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертации 120 страниц, включая 17 таблиц, 23 рисунка. Список использованной литературы содержит 207 наименований, в том числе 45 на иностранном языке.

**Благодарности:** Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю Чумаченко С.И. за руководство исследованиями, за советы, консультации и содействие на всех этапах работы, Шанину В.Н., Быховцу С.С. за моделирование почвенных и климатических характеристик. Автор выражает глубокую признательность коллективу ЦЭПЛ РАН за поддержку и ценные советы.

## ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УРОЖАЙНОСТИ ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ

В данной главе представлены результаты анализа публикаций, касающихся экологических условий формирования наиболее распространенных на территории России ягодников: черники (*Vaccinium myrtillus L.*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea L.*), малины (*Rubus idaeus L.*). Выявлены наиболее подходящие условия формирования производственной продуктивности (табл.1.1) и определены основные предикторы урожайности лесных ягодников.

Таблица 1.1 – Условия плодоношения для наиболее распространенных в России ягодников (Landolt, 1977; Цыганов, 1983; Телишевский, 1986)

Ягодники	ТЛУ	Возраст насаждения	Породный состав	Оптимальная полнота древостоя	Лесная зона/подзона
Черника	A2-4, B2-4, C2-C3	60 и более 40 и более	Сосна Ель Береза	0,6-0,8	хвойно-широколиственных лесов, тайга
Брусника	A2-4, B2-4, C3	40 и более	Сосна Ель Береза	0,3-0,4	хвойно-широколиственных лесов, лесотундра и тайга
Малина	A2-3, B2-3, C2-4; D2-4	-	Сосна Ель Береза	открытое место	хвойно-широколиственных, лесостепная зона и тайга

Известно, что урожай ягодников сильно варьирует в зависимости от погодных условий в период вегетации. Год от года урожайность одного участка может меняться в зависимости от температуры, осадков, весенних заморозков (Раус, 1972, Астрологова, 1999, Ярославцев, 2007). Учет всех этих факторов особенно важен для краткосрочного прогноза урожайности ягодников, для рекомендаций в предстоящий сезон (Богданова, Муратов, 1978). Долгосрочные прогнозы продуктивности ягодников основываются на данных многолетних наблюдений, в которых представлены показатели средней многолетней урожайности, включающие и неурожайные годы. Изменения климата (долговременные изменения температуры и осадков) влияют на показатели среднемноголетней урожайности и должны учитываться в модельных оценках.

Вместе с естественными предикторами рассмотрено влияние различных видов рубок на продуктивность ягодников, установлены периоды подъема и угнетения плодоношения, а также сроки его восстановления (Зворыкина, 1972; Черкасов и др., 1988; Ключников, 2001, 2005; Курлович и др. 2015; Казанцева, Мирьяминова, 2017; Рай, 2020; Доан, Нешатаев, 2022).

Выявлена проблема определения продуктивности ягодников в многовидовых разновозрастных лесных насаждениях, а также с наличием подроста и подлеска, так

как рассмотренные модели расчета урожайности ягодников работают только в моновидовых одновозрастных насаждениях, без подроста и подлеска, что ограничивает возможность их использования на большей части равнинных лесов европейской части России. Выявлен параметр, учет которого в комплексе с таксационными характеристиками повышает точность определения урожайности лесных ягодников – освещенность на уровне напочвенного покрова, так как полнота при наличии второго яруса, либо подроста и подлеска не описывает условия на уровне напочвенного покрова.

Существующие подходы не оценивают взаимосвязи между обеспечением ягодами и древесиной, этот вопрос требует проработки из-за актуальной повестки многоцелевого лесопользования и экосистемных услуг.

## ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЪЕКТЫ

В главе описан оригинальный метод определения урожайности лесных ягодников с применением универсальных для различных древесных пород уравнений с учетом комплекса факторов (ТЛУ, возраста), включая освещенность на уровне напочвенного покрова, рассчитанную в модели FORRUS-S. В качестве платформы для прогноза урожайности лесных ягодников выбрана модель динамики основных таксационных показателей многовидовых разновозрастных лесных массивов – FORRUS-S (Чумаченко, 1993, 2001, 2007; Chumachenko, 1996; Восточноевропейские леса, 2004). Шаг моделирования – 5 лет. Входными данными модели FORRUS-S являются стандартные таксационные описания и планы лесных насаждений. Модель верифицирована на 45-летнем ряду данных Приокско-Террасного заповедника Московской области по параметрам: породный состав, запасы насаждений, распределение по ступеням толщины. Накопленная ошибка за это период не превышает 15%.

В работу модели заложен алгоритм вычисления световых характеристик древостоя. Расчет освещенности под пологом леса был выполнен на основе данных, собранных из «Таблиц хода роста нормальных древостоев» (Швиденко и др., 2006). Материалы включают 2 436 выделов для чистых насаждений основных лесобразующих древесных пород во всевозможных возрастах, полнотах и бонитетах. Для выделов рассчитана освещенность на уровне напочвенного покрова (Чумаченко, 2006а).

Для расчета урожайности лесных ягодников в насаждении разработан дополнительный блок «Пищевые ресурсы» модели FORRUS-S, который вместе с классическими характеристиками из таксационного описания (тип лесорастительных условий, преобладающая порода, возраст древостоя, полнота) учитывает освещенность на уровне напочвенного покрова (Chumachenko et al., 2020).

Выполнено сопоставление полноты модельных древостоев и освещенности (рассчитанной в модели) в моновидовых насаждениях. Для различных пород при одинаковых полнотах относительная освещенность на уровне напочвенного покрова значительно различается, при полноте 0,5 освещенность под пологом еловых

насаждений составляет 16% относительно освещенности открытого места, сосновых и березовых 21 и 28% соответственно (рис. 2.1). Аналогичные уравнения составлены для всех возрастов, пород и бонитетов. В результате проведенного сопоставления стало возможно определить, какая освещенность соответствует разнополнотным насаждениям (Колычева, Чумаченко, 2021).

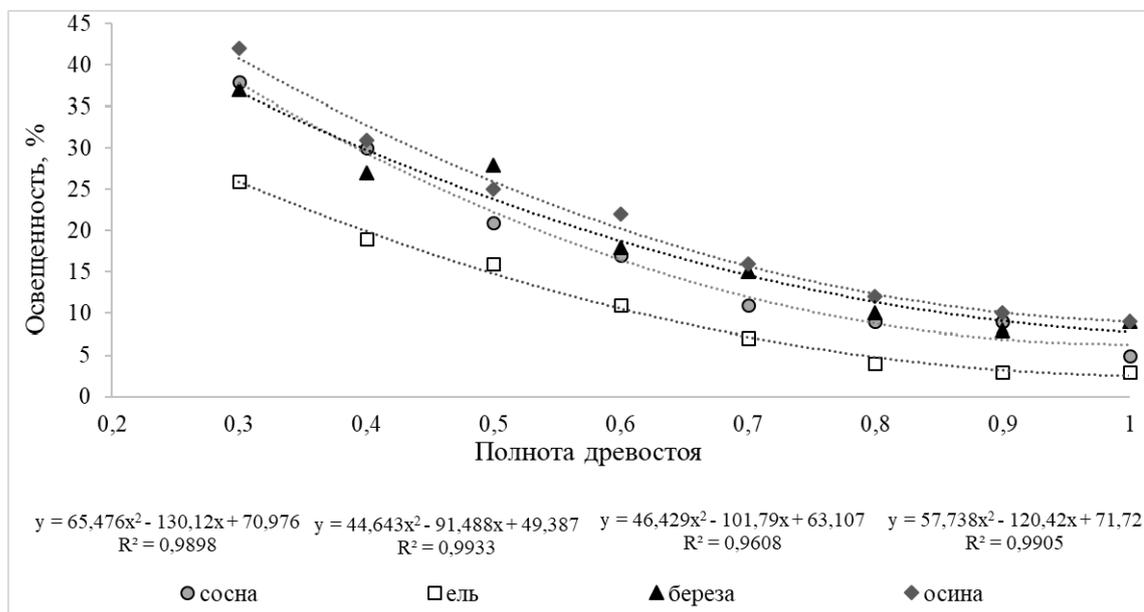


Рисунок 2.1 – Зависимость относительной освещенности на уровне напочвенного покрова от относительной полноты для древостоев сосны (90 лет), ели (90), березы (60), осины (40)

Проанализированы имеющиеся данные урожайности черники, брусники и малины из «Таксационного справочника по лесным ресурсам России (за исключением древесины)» (Курлович, Косицын, 2018). Затем значения полноты были заменены на рассчитанные выше показатели освещенности и сопоставлены с урожайностью ягодников. Под урожайностью понимается промышленная продуктивность ягодников, которая является частью биологического запаса, которую можно изымать без ущерба для дальнейшего воспроизводства ресурса. По полученным данным были выведены уравнения зависимости урожайности лесных ягодников от освещенности для модели FORRUS-S (табл. 2.1), где коэффициент детерминации от 0,73 до 0,96, что показывает сильную связь между значениями урожайности и освещенности. На графиках на рисунке 2.2 справочные значения урожайности ягодников представлены серыми треугольниками.

Таблица 2.1 – Уравнения зависимости для расчета урожайности лесных ягодников

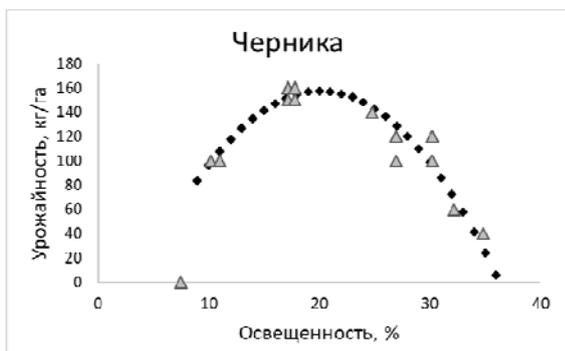
Ягода	ТЛУ	Порода	Уравнения	R <sup>2</sup>
Черника	A3, B3, C3	Сосна, ель, береза	$Y = -0,6 \times X^2 + 24,12 \times X - 85$	0,81
	B2, C2		$Y = -0,9 \times X^2 + 41,5 \times X - 296$	0,84
	A4, B4		$Y = -0,3 \times X^2 + 16,5 \times X - 68,9$	0,77
Брусника	A2, B2		$Y = 16,3 \times \ln(X) - 14,3$	0,88
	A3		$Y = 27,1 \times \ln(X) - 49$	0,73
	B3, C3		$Y = -21,7 \times \ln(X) + 9,1$	0,72

Ягода	ТЛУ	Порода	Уравнения	R <sup>2</sup>
Малина	А3		$Y = 0,8 \times X + 12,3$	0,83
	В3, В4		$Y = 1,1 \times X + 2,5$	0,96
	С3, С4		$Y = 0,5 \times X + 97,8$	0,93
	Д2, Д3,		$Y = 0,5 \times X + 105,5$	0,79

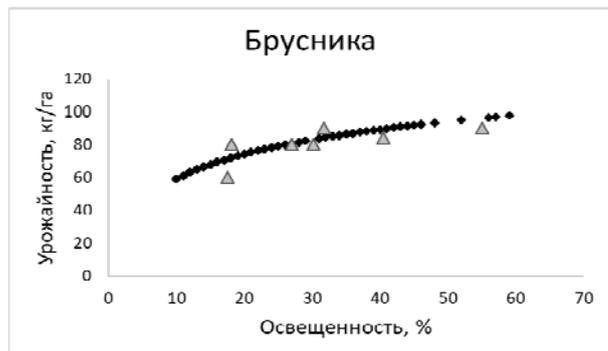
*Примечание.* X – относительная освещенность на уровне напочвенного покрова, рассчитанная в модели FORRUS-S, %; Y – урожайность, кг/га

Для применения уравнений необходимо учитывать комплекс характеристик и экологических ограничений для произрастания ягод: тип лесорастительных условий; порода; коэффициент состава; максимальный и минимальный возраст; максимальный и минимальный уровни освещенности. При учете этого комплекса факторов появляется возможность прогноза урожайности ягодников при любом значении освещенности. Тренды уравнений представлены на графиках черными точками и были сгруппированы для различных типов лесорастительных условий. Урожайность каждого вида имеет различные формы регрессионной зависимости от освещенности (рис.2.2).

а)



б)



в)

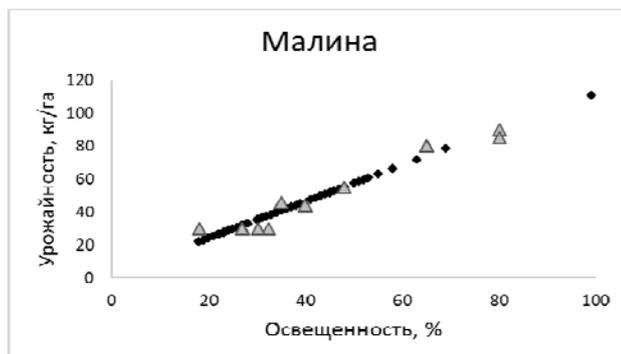


Рисунок 2.2 – Тренды зависимости урожайности лесных ягодников в ТЛУ В3 а) черники, б) брусники, в) малины от освещенности на уровне напочвенного покрова

Вместе с прогнозом продуктивности ягодников в моновидовых насаждениях был разработан алгоритм вычисления урожайности в многовидовых насаждениях

разного возраста, которые составляют значительную часть лесов на территории России. Главной особенностью подхода является учет урожайности ягодников по доли участия каждой породы на выделе. Так как на мозаичное распределение напочвенного покрова влияют кроны деревьев (Карпачевский, 1977; Крышень, 2006; Геникова, 2012), проводится оценка влияния каждой породы в насаждения пропорционально площади ее кроны, а не запаса. Например, в насаждении состава 5ЕЗС2Б сначала рассчитывается продуктивность в чистых ельниках, затем сосняках и березняках. Затем рассчитывается участие каждой породы в формировании кустарничков и урожая ягодников.

Одновременно с основными ярусами леса в учет освещенности включены подрост и подлесок. Входными данными для учета подроста являются его количество на выделе, высота, возраст и породный состав, а для подлеска – породный состав, густота.

С учетом этих корректировок можно получить наиболее точные прогнозы урожайности, так как учтены компоненты растительного сообщества, оказывающие влияние на освещенность на уровне напочвенного покрова, которая является основным предиктором продуктивности ягодников.

**Объекты исследования.** Для анализа и верификации работы модели выбраны объекты, расположенные в разных лесорастительных зонах европейской части России. Верификация блока «Пищевые ресурсы» модели FORRUS-S была проведена на экспериментальных участках по данным пробных площадей, описанных в летописях природы заповедников «Брянский лес» (Брянская область, Суземский район) и Приокско-Террасного заповедника (Московская область, Серпуховский район) – зона хвойно-широколиственных лесов. Прогнозные оценки с использованием модели осуществлены на четырех участках. 1 – Данковское участковое лесничество (Московская область), зона хвойно-широколиственных лесов (далее Данки); 2 – водосбор реки Маньга (Республика Карелия), подзона средней тайги (далее Маньга); 3 – арендный участок Серая лошадь (Нижегородская область) (далее Серая лошадь) и 4 – Паше-Капецкое участковое лесничество Ленинградской области, объекты южнотаежной подзоны.

**Верификация.** Проверка расчета урожайности брусничников проведена на примере пробной площади в Приокско-Террасном заповеднике. По мере роста и развития насаждения за 30 лет полнота на участке увеличивается от 0,6 до 0,7, к 2015 году появился развитый подрост 10Е, средний подлесок (Летопись природы Приокско-Террасного государственного заповедника..., 1948 а, б; 2017; 2018). Наблюдается скачкообразное (с учетом неурожайных годов) повышение продуктивности ягодников, пик достигнут в 1987 году. Затем урожайность брусники на участке постепенно снижается и к 2010 году деградирует полностью. Произведена оценка соответствия между результатами моделирования и натурными данными, рассчитан коэффициент детерминации  $R^2 = 0,89$ , который характеризует случайные отклонения модельных значений относительно результатов. Погрешность учета урожая брусники за 35 лет по сравнению с суммарной урожайностью на экспериментальном участке Приокско-Террасного заповедника составила 19%.

Проверка работы модели для черничников была проведена аналогичным методом, по данным многолетних наблюдений из Летописей природы заповедника «Брянский лес» с 1993 года (Летопись природы Государственного природного биосферного заповедника «Брянский лес», 2012; 2017). К 2006 году структура насаждения изменяется, появляется подрост состава 5Д4Б, при этом полнота остается неизменной. Также были сравнены результаты моделирования и натурные данные, коэффициент детерминации  $R^2 = 0,98$ , который характеризует случайные отклонения. Рассчитана погрешность блока «Пищевые ресурсы» для учета черники за 20 лет по сравнению с суммарной урожайностью на пробной площади заповедника «Брянский лес» за тот же период. Погрешность составляет 17%. Также подтверждено прямое влияние подроста на урожайность черничников и некорректность учета только полноты древостоя для оценки продуктивности ягодников.

### **ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СЦЕНАРИЯХ**

В результате выполненных модельных экспериментов дан прогноз урожайности ягодников на 100 лет при различных сценариях ведения лесного хозяйства и изменения климата. Все используемые в работе сценарии моделирования можно условно поделить на три большие группы: сценарий простой (СП), сценарий климатический (СК), сценарий экономический (СЭ). К первой группе относятся сценарии, используемые для выявления экологических закономерностей произрастания древостоя и продуктивности лесных ягодников, рассматриваются принципиально различные типы ведения лесного хозяйства: естественное развитие (СП\_ЕР), сплошные рубки (СП\_СР), выборочные рубки (СП\_ВР), комплекс сплошных и выборочных рубок (СП\_СР+ВР). Ко второй группе относятся сценарии с изменением климата СК\_4.5, СК\_6.0, СК\_8.5, аналогичные сценариям RCP принятым Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) из Пятого оценочного доклада (Изменение климата..., 2013). Третья группа сценариев вместе с изменением вида рубок включает более детальное варьирование лесохозяйственных мероприятий, таких как рубки ухода и процент освоения расчетной лесосеки, так как именно эти мероприятия наиболее быстро и эффективно влияют на доходность, которую можно получить с лесного участка. Сценарии экономические разделены на несколько видов: без посадки лесных культур СЭ\_бК, с посадкой лесных культур, но без ухода за ними СЭ\_ЛК\_бУ, с посадкой лесных культур и уходом за ними СЭ\_ЛК\_У.

Преобладающим ресурсом объекта Данки является черника, которая занимает 86% площади ягодных массивов, эпизодично встречается малина – 9%, в единичных выделах произрастает брусника. На объекте Маньга доминирующим ягодным кустарничком является черника – 77%. Объект имеет явные отличия от предыдущего, так как расположен в подзоне средней тайги, что предполагает более разреженную структуру древостоя, вследствие чего, доля площадей участков с более

требовательными к свету брусничкой и малиной больше, чем на объекте Данки. На территории объекта Серая лошадь южнотаежной лесной подзоны наблюдается преобладание черничников – 78%, при этом больше доля брусничников – 21%, так как полог более разрежен и условия наиболее благоприятны в сравнении объектами Данками и Маньгой. При этом наличие малины минимально – 1%.

Наиболее продуктивен объект Маньга: при естественном развитии на 50% его территории расположены ягодные массивы. Здесь высокой продуктивностью обладает черника, урожайность варьирует от 92 до 103 кг/га. На объекте Данки ягодные массивы занимают всего 10% территории, до 50 лет доминирует малина 70-90 кг/га, затем ее продуктивность падает до 20-30 кг/га. Урожайность черники на объекте стабильная, но невысокая, в среднем 60 кг/га. Объект южнотаежной зоны является самым низкопродуктивным из-за преобладания неблагоприятных для производственной продуктивности ягодников условий - ТЛУ В2.

Выборочные рубки оказывают благоприятное влияние на продуктивность ягодников объекта Данки. Проведение выборочных и сплошных рубок повышает урожайность ягодников относительно сценария естественного развития лесов. На объекте Маньга рубки не оказывают значительного влияния, как в Данках, так как здесь изначально объект высокопродуктивен. В сценарии СП\_ВР урожайность ягодников возрастает. Сценарий СП\_СР+ВР оказывают негативное действие на объекте Маньга, снижая площадь ягодных массивов до 39%. На объекте Серая лошадь в сценариях СП\_ВР и СП\_СР+ВР наблюдается повышение урожайности черники и малины относительно сценария естественное развитие, но урожайность на объекте остается не высокой.

Перспективу совмещения заготовки древесины и ягод на одной территории можно проанализировать по динамике объемов заготовки древесины и урожая ягодников на объектах моделирования. Для анализа были взяты показатели возможных объемов заготовок за год, характеризующие на объекте Данки лесничество целиком, а на объекте Маньга зоны различных способов ведения хозяйства – защитные и эксплуатационные леса. Объемы заготовок приведены к площади покрытой лесом территории всего объекта (Данки) или целевого назначения (Маньга), так как на объекте есть защитные и эксплуатационные земли, предполагающие принципиально разные способы ведения хозяйства (сплошные и выборочные рубки). Такие нестандартные характеристики были выбраны из-за необходимости сравнения продуктивности ягодников на объектах различных по структуре и площадям (Колычева и др., 2022). Установлено, что можно достигнуть синергии между обеспечением древесиной и заготовкой ягод. При этом необходимо учитывать исходные данные объектов. Выборочные рубки увеличивают урожайность ягодников на объектах Данки и Маньга (синергия). Сплошные рубки с высоким объемом заготовки на объекте Данки ведут к снижению урожайности ягодников, а комплекс сплошные и выборочные рубки на объекте Маньга к сокращению площади ягодных массивов с 50% до 39% (конфликт). Определены предельные объемы заготовки древесины, которые не ведут к деградации ягодников, на объекте Данки  $6-8 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ , и на защитных и эксплуатационных зонах объекта Маньга  $4-6 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ , при которых не снижается ежегодная продуктивность ягодников.

Методом регрессионного анализа рассчитаны зависимости между рассматриваемыми характеристиками, при этом ежегодные объемы заготовки древесины разделены по хозяйствам. В таблице 3 представлены уравнения и коэффициенты детерминации  $R^2$ , значения  $X$  представлены двумя показателями – это объем заготовки по хвойным  $X_1$  и лиственным  $X_2$  хозяйствам (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Регрессионные зависимости урожайности ягодников от среднегодовых объемов заготовки древесины

Сценарий	Целевое назначение	Черника	Брусника	Малина
<b>Объект Данки</b>				
СП_ВР	защитные	не выявлена	не выявлена	$R^2 = 0,379$ $Y = 7,24 - 0,783 \times X_1 + 0,67 \times X_2$
СП_СР	защитные	$R^2 = 0,545$ $Y = 12,4 - 0,42 \times X_1 + 0,06 \times X_2$	не выявлена	$R^2 = 0,678$ $Y = 7,2 - 0,28 \times X_1 + 0,06 \times X_2$
<b>Объект Маньга</b>				
СП_ВР	защитные	не выявлена	не выявлена	не выявлена
	эксплуатационные	не выявлена	$R^2 = 0,633$ $Y = -34,34 + 6,8 \times X_1 + 4,5 \times X_2$	не выявлена
СП_СР+ВР	защитные	$R^2 = 0,472$ $Y = -16,78 + 10,59 \times X_1 + 5,49 \times X_2$	не выявлена	$R^2 = 0,375$ $Y = 50,8 - 10,56 \times X_1 - 4 \times X_2$
	эксплуатационные	не выявлена	$R^2 = 0,490$ $Y = 5,8 + 0,9 \times X_1 + 0,19 \times X_2$	не выявлена

*Примечание.*  $X_1$  – ежегодный объем заготовки древесины по хвойному хозяйству ( $m^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ );

$X_2$  – ежегодный объем заготовки древесины по лиственному хозяйству ( $m^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ );

При выборочных рубках в Данках наблюдается статистически значимая зависимость ежегодной урожайности малины от объемов заготовки, рубка лиственных пород характеризуется также положительной направленностью, а хвойных – отрицательной. Заметная связь проявляется в Данках в сценарии со сплошными рубками для черники и малины. При этом,  $X_1$  (рубки хвойных древостоев) имеет отрицательный коэффициент в уравнении, а  $X_2$  (рубки лиственных древостоев) – положительный, такая разнонаправленность зависимостей связана с преобладанием лиственных пород на объекте, их рубка

благоприятно влияет на ягодники, а рубка немногочисленных хвойных насаждений – отрицательно.

Из множества возможных типов воздействий в настоящей работе рассмотрено влияние климатических изменений на продуктивность лесных насаждений. (Грабовский, Замолодчиков, 2019; Отчет..., 2019). Тренды продуктивности ягод при изменениях климата сходны в пределах объекта для каждого ягодника. Наибольший положительный эффект наблюдается на объекте Маньга бореальной зоны, также наибольшее влияние климата на повышение продуктивности древостоя установлено в бореальных лесах (Schaphoff et al., 2016). Урожай черники и брусники увеличивается, так как объект расположен в подзоне средней тайги и изменение климата повышает продуктивность древостоя, а вместе с ним и ягодников, при этом максимально высокие урожаи достигаются при самом «экстремальном» сценарии СК\_8.5. На объектах южной тайги и хвойно-широколиственной зоны более мягкие сценарии изменения климата СК\_4.5 и СК\_6.0 оказывают благоприятное воздействие на продуктивность ягодников, а сценарий СК\_8.5 в некоторых случаях снижает ее. Таким образом, долгосрочный прогноз позволяет определить тенденцию урожая ягод, климатические сценарии влияют на урожай ягод, но при сравнении со сценарием с проведением рубок, они оказывают меньшее воздействие.

#### **ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСАЖДЕНИЙ**

Суммарный потенциал прибыли от заготовки ягод рассчитан для территории Паше-Капецкого участкового лесничества Ленинградской области Тихвинского района.

Установлено, что при многоцелевом лесопользовании, заготовка ягод повышает доходность лесного участка до 29%. Оценен потенциал ягодников на территории объекта Паше-Капецкого участкового лесничества, выяснено, что черника является наиболее продуктивным ягодником на объекте, и достигает урожаев от 25 до 48 т/г, в зависимости от сценария ведения хозяйства, тогда как продуктивность брусничников значительно ниже: от 7 до 15 т/г. Наиболее продуктивным лесохозяйственным сценарием является СЭ\_ЛК\_У – сценарий с обязательным проведением 50% посадки лесных культур от пройденных сплошными рубками участков, а также обязательным уходом в молодняках и средневозрастных насаждениях. Наименее перспективным является сценарий СЭ\_ЛК\_БУ с проведением лесовосстановления и отсутствием рубок ухода, даже в сравнении со сценарием СЭ\_БК, где отсутствуют и посадки лесных культур и рубки ухода.

Несмотря на то, что общий запас ягод на участке значительный, заготовка перспективна не для всей территория. Проведенный анализ с использованием ГИС с разделением на участки: (1) для промышленного сбора ягод, (2) для нужд местного населения и (3) экономически недоступные (рис.4.1). Из всего запаса ягодных ресурсов для промышленной заготовки рекомендуется использовать 37-48% площади, при этом 28-33% остается для нужд местного населения, а 27-36%

территории является нерентабельной для заготовки пищевых ресурсов. Ситуация может измениться при расширении дорожной сети.

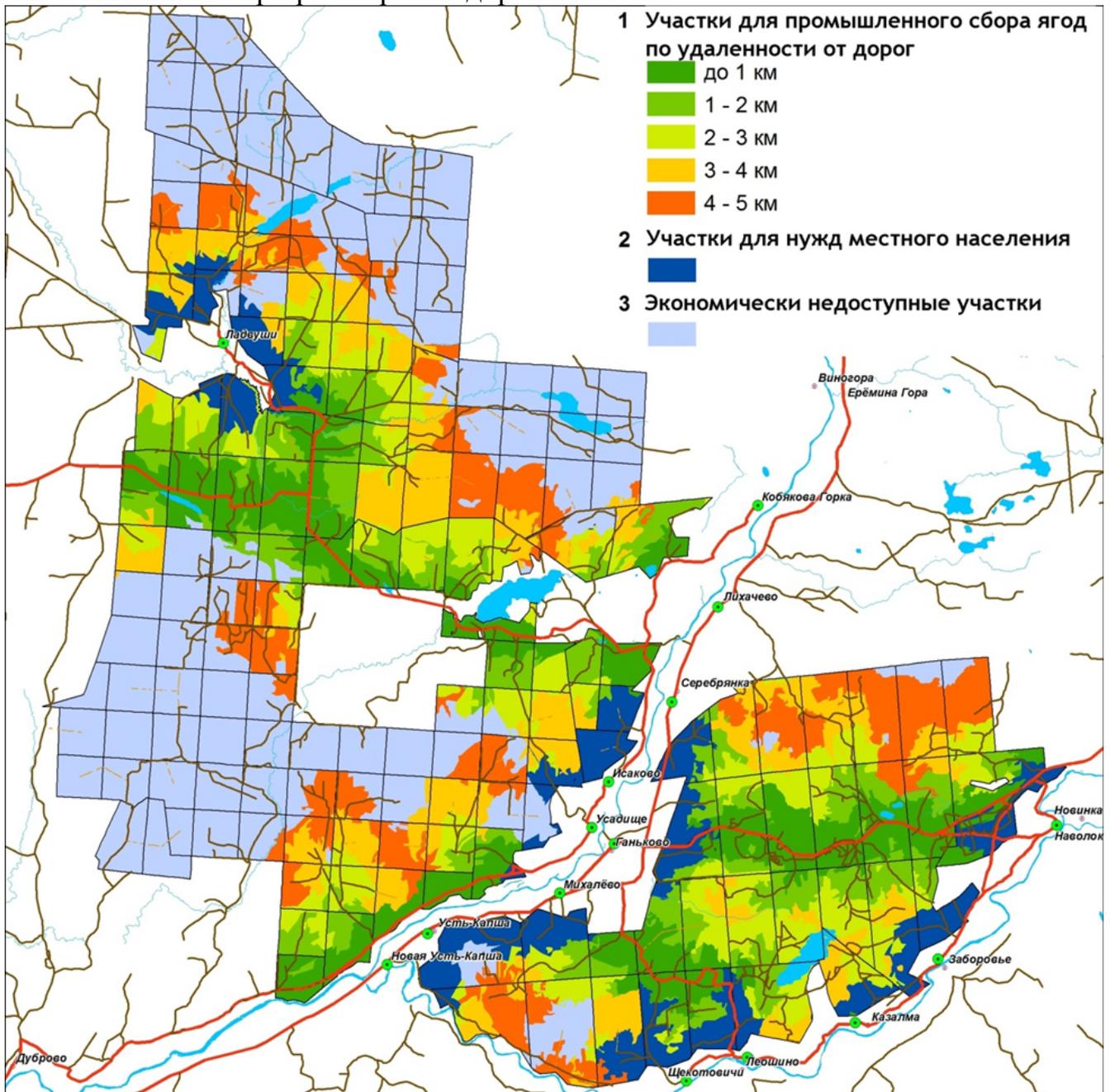


Рисунок 4.1 – Зонирование территории Паше-Капецкого лесничества по доступности пищевых ресурсов от дорог общего пользования

Подсчитан экономический потенциал участков (рис. 4.2). Для черники потенциальный доход со всего участка для сценариев СЭ\_БК и СЭ\_ЛК\_У – от 6 до 10 млн руб. в год, в промышленную заготовку можно отнести ресурсы на 2–3,8 млн руб. ежегодно.

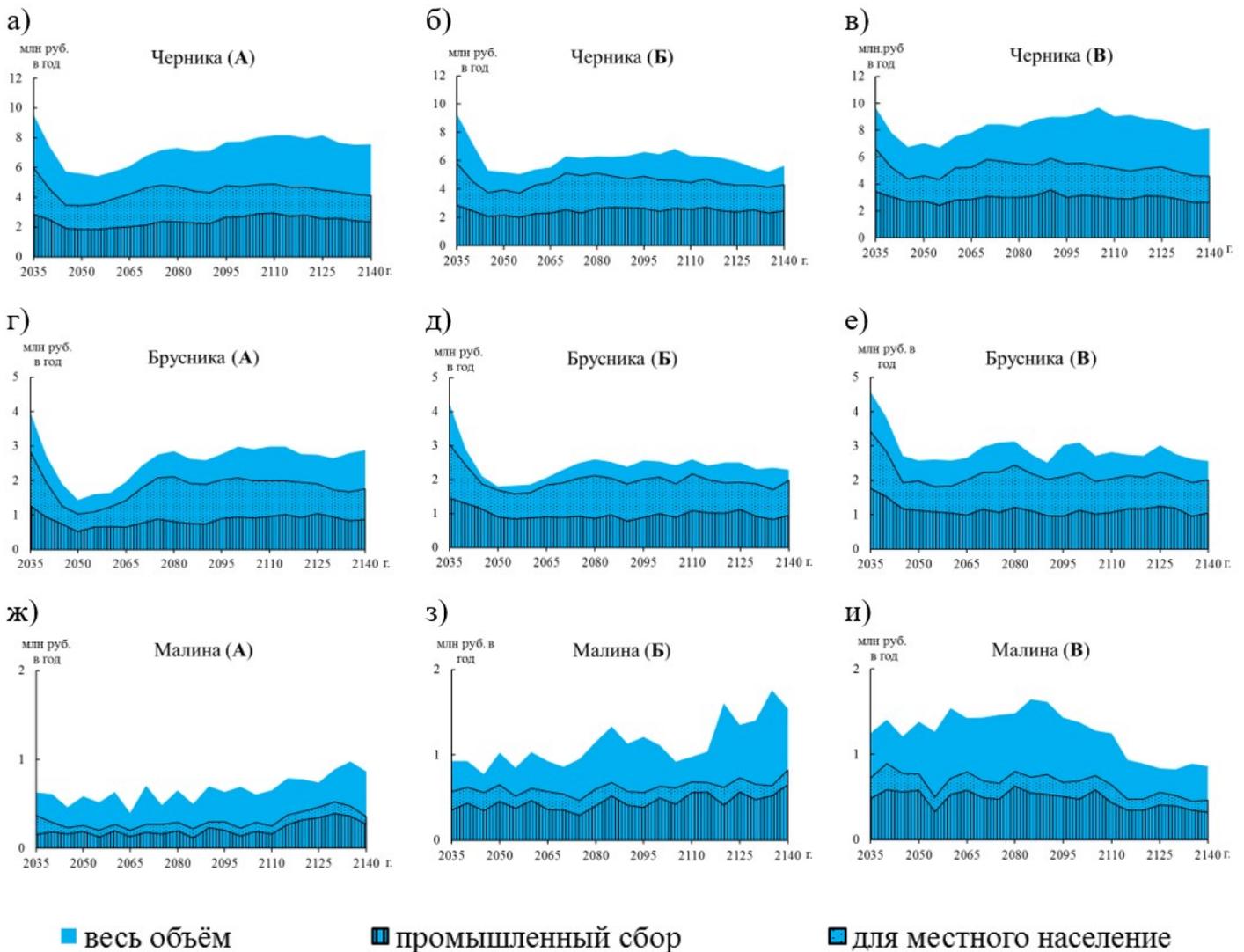


Рисунок 4.2 – Потенциальный доход от заготовки лесных ягод по зонам в сценариях СЭ\_БК (А); СЭ\_ЛК\_БУ (Б); СЭ\_ЛК\_У (В)

В сценарии СЭ\_ЛК\_БУ при сокращении общей доходности участка до 5–7 млн руб. в год можно получить с заготовки ягоды 2–2,9 млн руб. в год на участках, предназначенных для промышленной заготовки. Для брусники расхождение предполагаемого дохода в сценариях ниже, чем у черничников, менее 1 млн руб. в год. С участков для промышленной заготовки максимальную сумму дохода можно получить в сценариях СЭ\_БК и СЭ\_ЛК\_У – от 1 до 1,7 млн руб. в год. Наименее перспективным с точки зрения промзаготовки брусники является сценарий СЭ\_ЛК\_БУ с доходностью от 0,6 до 1,1 млн руб. в год. По сравнению с черникой и брусникой малина вносит меньший вклад в доход с лесного участка. В наиболее продуктивном сценарии СЭ\_ЛК\_У от общей доходности ягод на участке 0,9–1,5 млн руб. в год при промышленной заготовке может быть получено от 0,4 до 0,6 млн руб. в год. Наименее продуктивный сценарий СЭ\_БК за весь период моделирования может принести от 0,5 до 1 млн руб., а с зоны промышленной заготовки выручка составит 0,2 – 0,3 млн руб. в год.

## ВЫВОДЫ

1. Выявлена проблема определения продуктивности ягодников в многовидовых разновозрастных насаждениях, с наличием подроста и подлеска, которые распространены в равнинных лесах европейской части России. Установлен фактор, учет которого в комплексе с таксационными характеристиками повышает точность определения урожайности лесных ягодников – освещенность на уровне напочвенного покрова.

2. Разработана методика прогноза урожайности лесных ягодников с учетом освещенности на уровне напочвенного покрова, которая позволяет учесть влияние не только полноты древесного яруса, но и всех компонентов лесного фитоценоза, таким образом, оценку урожайности можно проводить в многовидовых насаждениях разного возраста, с наличием подроста и подлеска. Вычислены уравнения определения урожайности черники, брусники, малины, где входной переменной является освещенность на уровне напочвенного покрова. Уравнения являются универсальными для различных лесных пород и при соблюдении комплекса факторов: ТЛУ, возраст.

3. Разработан дополнительный блок модели FORRUS-S для расчета урожайности лесных ягодников – «Пищевые ресурсы». Верификация блока проведена по объектам хвойно-широколиственной зоны: Приокско-Террасный заповедник (Московская область) и заповедник «Брянский лес» (Брянская область), выявлена некорректность учета только полноты при расчете урожайности и необходимость перехода на освещенность. Выявлена ошибка модельного прогноза продуктивности лесных ягодников: для черники – 17% («Брянский лес») и брусники – 19% (Приокско-Террасный заповедник).

4. На основе модельного прогноза на 100 лет установлено, что выборочные рубки увеличивают урожайность ягодников на объектах хвойно-широколиственной зоны (Московская область) и средней тайги (республика Карелия). Сплошные рубки с высоким объемом заготовки на объекте хвойно-широколиственных лесов ведут к снижению урожайности ягодников, а комплекс сплошные и выборочные рубки на объекте среднетаежной подзоны – к сокращению площади ягодных массивов (конфликт). Определены предельные объемы заготовки древесины на всю площадь объектов, которые не ведут к деградации ягодников, на объекте хвойно-широколиственной зоны –  $6-8 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ , и на защитных и эксплуатационных зонах объекта средней тайги  $4-6 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ , при которых не снижается ежегодная продуктивность ягодников.

Климат оказывает влияние на продуктивность ягодников, повышая урожайность преимущественно в таежной зоне. Однако, последствия рубок превосходят влияние климата в несколько раз.

5. Из всего запаса ягодных ресурсов на территории объекта южнотаежной подзоны (Ленинградская область) в заготовку может поступать только 37–48%, при этом 28–33% остается для нужд местного населения, а 27–36% территории является

нерентабельной для заготовки пищевых ресурсов из-за удаленного расположения участков от дорог.

Наиболее перспективным является сценарий с проведением лесовосстановления и полным циклом ухода за культурами, доходность от заготовки ягод на участке составляет 4,1–5,7 млн руб. в год. Наименее перспективным является сценарий с посадкой лесных культур и отсутствием ухода за ними, в котором вместе с продуктивностью насаждения снижается и продуктивность ягодников, выручка, которую можно получить, составляет 2,5–4,4 млн руб. в год.

В результате расчета потенциального дохода от заготовки древесины и лесных ягод, было выяснено, что при многоцелевом лесопользовании заготовка ягод повышает доходность лесного участка от 17 до 29%.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК*

1. **Колычева А. А.**, Чумаченко С. И., Киселева В.В., Агольцов А. Ю. Анализ запасов и условий заготовки лесных ягод с учетом их пространственного распределения и доступности // Лесоведение. – 2023. – №5. – С.513–525

Версия: **Kolycheva A. A.**, Chumachenko S. I., Kiseleva V. V., Agol'cov A. Ju. Analysis of the Stocks and Conditions of Harvesting for Forest Berries with Consideration for Their Spatial Distribution / Contemporary Problems of Ecology. – 2023. – Vol. 16. – No. – 7, pp. 1041–1050. DOI: 10.1134/S1995425523070065

2. **Колычева, А. А.**, Чумаченко С. И., Тебенькова Д. Н. Потенциал заготовки лесных ягод при различных способах ведения лесного хозяйства на основе модельного прогноза // Лесоведение. – 2022. – № 5. – С. 549–563. – DOI 10.31857/S0024114822050023.

### *Публикации в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus*

3. Chumachenko S., Kiseleva V., **Kolycheva A.**, Karminov V. Long-term forecast of forest ecosystem services under different forest use scenarios // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. – P. 012039. – DOI 10.1088/1755-1315/875/1/012039.

4. Chumachenko S., Kiseleva V., **Kolycheva A.**, Mitrofanov E. Modeling of multiple forest use under different management scenarios // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol.574. – P. 1–9. – DOI 10.1088/1755-1315/574/1/012011.

### *Публикации в других научных изданиях*

5. **Колычева, А. А.** Эколого-экономическая оценка лесных ягодников при различных сценариях ведения лесного хозяйства на долгосрочный период методами имитационного моделирования // Ежегодная национальная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ: Материалы конференции, Мытищи, / Под общей редакцией В.Г. Санаева. – Красноярск: "Научно-инновационный центр", 2022. – С. 43–44.

6. **Колычева, А. А.**, Чумаченко С.И. Влияние изменения климата на урожайность лесных ягод // Устойчивое лесопользование. – 2022. – № 3(70). – С. 40–42. – DOI 10.47364/2308-541X\_2022\_70\_3\_40.

7. **Колычева, А. А.**, Чумаченко С.И. Потенциал урожая черники, брусники, малины с учетом особенностей участка и сценария ведения лесного хозяйства // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН, Москва, 25–29 апреля 2022 года. – Москва: ЦЭПЛ РАН, 2022. – С. 167–170

8. Тебенькова Д.Н., Лукина Н. В., Катаев А. Д., Чумаченко С.И., Киселева В.В., **Колычева А.А.**, Шанин В.Н., Гагарин Ю.Н., Кузнецова А.И. Разработка сценариев для имитационного моделирования экосистемных услуг лесов // Вопросы лесной науки. – 2022. – Т. 5. – № 2. – С. 1–87.

9. **Колычева, А. А.**, Чумаченко С.И. Оценка урожая лесных ягодников в зависимости от особенностей лесных участков // Экология и управление природопользованием: сборник научных трудов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Томск, 26 ноября 2021 года. Томск: ООО "Литературное бюро", 2022. – С. 37–38.

10. Киселева В.В., Чумаченко С.И., Митрофанов Е. М., Карминов В.Н., **Колычева А.А.** Ресурсные и экономические аспекты неистощительного лесопользования // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VI Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 26–28 мая 2021 года. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 212–215.

11. Киселева, В. В., Чумаченко С. И., **Колычева А. А.** Влияние режимов лесопользования на структурное разнообразие лесных экосистем: результаты сценарного моделирования // Математическое моделирование в экологии (ЭкоМатМод): Материалы Седьмой Национальной научной конференции с международным участием, Пущино, 09–12 ноября 2021 года. – Пущино: ФИЦ ПНЦБИ РАН, 2021. – С. 51–53.

12. **Колычева А.А.**, Тебенькова Д.Н. Прогноз урожайности лесных ягод при различных сценариях ведения лесного хозяйства Лесная наука, молодежь, будущее – 2021: МАТЕРИАЛЫ II МЕЖДУНАРОДНОЙ ШКОЛЫ-КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, Гомель, 06–09 июля 2021 года. – Гомель: ООО «Типография «Белдрук», 2021. – 210 с.

13. **Колычева А.А.**, Чумаченко С.И., Киселева В.В., Агольцов А.Ю., Карминов В.Н., Митрофанов Е.М. Имитационное моделирование урожайности лесных ягод с учетом освещенности на уровне напочвенного покрова // Математическое моделирование в экологии (ЭкоМатМод): Материалы Седьмой Национальной научной конференции с международным участием, Пущино, 09–12 ноября 2021 года. – Пущино: ФИЦ ПНЦБИ РАН, 2021. – С. 54–56.

14. **Колычева, А. А.** Экономическая оценка лесных ягодников в зависимости от особенностей лесных участков // Ежегодная национальная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ: Сборник тезисов докладов, Мытищи, Московская область, 01–03 февраля 2021 года. – Красноярск: ООО"Научно-инновационный центр", 2021. – С. 26–27.

15. **Колычева, А. А.,** Чумаченко С.И. Оценка урожайности лесных ягод с учетом уровня освещенности напочвенного покрова методами имитационного моделирования // Вопросы лесной науки. – 2021. – Т. 4. – № 3. – С. 87–113. – DOI 10.31509/2658-607x-202143-90

16. **Колычева, А. А.,** Чумаченко С.И. Долгосрочный прогноз урожайности лесных ягод при различных видах рубок // Научные основы устойчивого управления лесами : Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 27–30 октября 2020 года. – Москва: ЦЭПЛ РАН, 2020. – С. 55–57.

17. **Дулина, А. А. (Колычева А.А),** Чумаченко С.И. Обоснование учета освещенности для моделирования пищевых ресурсов лесов Центральной части России // Доклады VII Всероссийской конференции (с международным участием) Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии (памяти выдающегося ученого-лесоведа, академика РАН А.С. Исаева), 22–24 апреля 2019 года. – Москва: ЦЭПЛ РАН, 2019. – С. 123–124. – DOI 630\*8, 004\*94.

18. **Дулина, А. А. (Колычева А.А),** Чумаченко С.И. Обзор моделей оценки пищевых ресурсов лесов Центральной части России // Вопросы лесной науки. – 2018. – Т. 1. – № 1. – С. 1–22.

Версия: **Dulina, A. A. (Kolycheva A.A.),** Chumachenko S. I. Review of models of food resources evaluation of the forests of Central Russia // Forest Science Issues. – 2019. – Vol. 2. – No S2. – P. 1–16. DOI 10.31509/2658-607x-2019-2-2-1-16

#### *Монографии*

19. **Колычева А.А.** Прогноз урожайности черники, брусники, малины в лесах европейской части России. М.: Издательство «Перо», 2023. – 132 с.