

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов
Российской академии наук

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

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата биологически наук

Научный руководитель:
Чумаченко С.И., д.б.н.

Москва, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1 АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УРОЖАЙНОСТИ ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ	12
1.1. Экологические условия произрастания наиболее распространенных видов ягодных растений.....	12
1.2. Влияние рубок на продуктивность ягодников	18
1.3. Обзор моделей прогноза урожайности лесных ягодников	20
Глава 2 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЪЕКТЫ	30
2.1. Описание работы модели FORRUS-S	30
2.2. Структура входных данных для модели FORRUS-S.	33
2.3. Расчет урожайности лесных ягодников с учетом освещенности на уровне напочвенного покрова методами имитационного моделирования.....	36
2.4. Объекты исследования.....	41
2.5. Верификация модельных расчетов	46
Глава 3 РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СЦЕНАРИЯХ	54
3.1. Сценарии имитационного моделирования.....	54
3.2. Прогноз урожайности ягодников при простых сценариях моделирования .	55
3.2.1. Параметры простых сценариев.....	55
3.2.2. Урожайность ягодников при естественном развитии лесных насаждений	57
3.2.3. Прогноз урожайности ягодников при проведении рубок.....	62
3.2.4. Сравнительная оценка урожайности ягодников в хвойно- широколиственных лесах и лесах средней тайги	64
3.2.5. Синергия и конфликты между обеспечением древесиной и ягодами в зоне хвойно-широколиственных лесов и средней тайге.....	66
3.3. Влияние климата на продуктивность лесных ягодников	70
Глава 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСАЖДЕНИЙ.....	77
4.1. Параметры экономических сценариев	77
4.2. Характеристики объекта исследования.....	77

4.3. Расчет экономического потенциала заготовки лесных ягод.....	79
4.4. Долгосрочный прогноз динамики насаждений модельного лесничества..	80
4.5. Ресурсный потенциал ягодников на объекте	82
4.6. Прогноз доходности заготовки пищевых ресурсов	84
4.7. Подбор участков для промышленной заготовки лесных ягод и участков для нужд местного населения	84
4.8. Доходность лесного участка от совместной заготовки древесины и лесных ягод.....	88
ВЫВОДЫ	92
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	94
Приложение А	118

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Из-за сокращения рентабельных, доступных для освоения лесных участков в мировой практике наблюдается тренд перехода к мультифункциональному лесному хозяйству, одним из главных условий которого должно быть сохранение баланса между всеми экосистемными услугами лесов (Millennium..., 2005; Wolfslehner et al., 2019; Pohjanmies et al., 2021). Одними из ведущих глобальных вызовов являются изменение климата и возрастающая потребность в лесных продуктах и услугах, вызванная ростом населения Земли и связанная с этим деградация лесов, потеря биоразнообразия, истощение лесных ресурсов (Taylor et al., 2012; Лукина, 2020а, 2020б). Парадигма мультифункционального лесного хозяйства предполагает одновременное использование всех экосистемных услуг. Понятие экосистемные услуги подразумевает «выгоды для людей, получаемые от экосистем» (Millennium..., 2005). Экосистемные услуги подразделяются на 4 категории: обеспечивающие (англ. provisioning) – продукция, получаемая от экосистем (пища, пресная вода, древесина, волокна, генетические ресурсы, лекарственные ресурсы); регулирующие (англ. regulating) – выгоды, получаемые от регулирования экосистемными процессами (регулирование изменений климата, природная очистка воды и др.); поддерживающие (англ. supporting) – (сохранение местообитаний для биоты, фотосинтез, почвообразование) и др.; культурные (англ. cultural) – выгоды, получаемые от экосистем в форме духовного обогащения, интеллектуального развития, рекреации, эстетических ценностей.

В России разрабатываются пути к экосистемному планированию в лесном хозяйстве (Петров, 2014, 2018). Между всеми экосистемными услугами и функциями существуют отрицательные (конфликты) и положительные (синергия) взаимосвязи. Конфликт возникает в случаях, когда при возрастании использования одной услуги происходит снижение потенциала другой услуги. При синергии возрастание использования одной услуги приводит к увеличению потенциала другой услуги (Тебенюкова и др., 2019). Прогнозы возможных синергии и

компромиссов 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, так как на полный цикл жизни моделируемых объектов приходится длительный период времени, например, для березы – это 150 лет, для ели и сосны – около 300 лет (Диагнозы и ключи..., 1989; Онтогенетический атлас..., 2013). Поиск решения совмещения обеспечивающих услуг: заготовка древесины и лесных ягод обсуждается на мировом уровне (Курлович и др., 2015; Huber et al., 2016; Vacik et al., 2017; Sheppard et al., 2020).

В настоящее время идет активный переход на мультифункциональное лесопользование, но на практике чаще встречается принцип многоцелевого лесопользования. Несмотря на частое отождествление этих понятий, многоцелевое лесопользование не включает поддерживающие и регулирующие услуги, не учитывая социальную и экологическую устойчивость (Большаков, 2009; Тебенькова, Катаев, 2022). На законодательном уровне в России закреплен термин многоцелевое использование лесов, включающий такой вид использования лесов как заготовка пищевых лесных ресурсов и сбор лекарственных растений, к которым относятся дикорастущие плоды, ягоды, орехи, грибы, семена, березовый сок и подобные лесные ресурсы (Лесной кодекс РФ, 2006).

На территории России учет ягодников при таксации лесных участков не проводится на должном уровне. Существует проблема нехватки данных о размещении биологических ресурсов дикорастущих ягодников. 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). Например, по результатам сравнительной стоимостной оценки древесины и ягод морошки в сосняке сфагновом ясно, что доход от реализации ягод на 1 га в 11,5 раз превысил уровень дохода от заготовки древесины (Косицын, 1996, 1998; Кожухов, Ключников, 2000).

Следовательно, заготовка лесных ягод повышает экономический потенциал лесной отрасли и обеспечивает население экологически чистой продукцией (Поздняков и др., 1978; Большаков, 2014). Используя имитационное моделирование, можно рассчитать общий потенциал объекта (лесного участка), площади ягодных массивов –участков леса, на территории которых произрастают ягодные растения в объеме достаточном для организации их заготовки (Панин, 2022), пригодные для промышленной заготовки. Россия имеет перспективы наращивания темпов производства лесных ягод. Из 1508 тыс. тонн эксплуатационных запасов брусники в заготовку сейчас идет 45 тыс. тонн, и 35 тыс. тонн черники из возможных 1309 тыс. тонн (Рынок дикоросов..., 2021). Для повышения объёмов заготовки лесных ягод необходимо решить проблемы нормативного, ресурсного характера, а также методов определения запасов ресурса (Колерова, 2016).

Включение заготовки ягод в расчет экономического потенциала лесных участков может обеспечить занятость населения и дополнительный доход (Вельм, 2009; Grivins, Tisenkopfs, 2018; Elsedig, Abdalbasit, 2019). По данным Петрова Н.В. (Петров, 2015) в Республике Карелия сбором лесных ягод занимаются 90% сельского населения, при этом сбор ягод является основным доходом для 5% опрошенных. Однако организация заготовок невозможна без ряда мероприятий правового, научного и практического характера, реализация которых позволит усовершенствовать правовые основы эксплуатации пищевых ресурсов леса, разработать методы учета сырья и прогнозирования потенциальной продуктивности ягодников, предложить технологические схемы и оборудование по переработке пищевого и лекарственного сырья (Грибов, Грязькин, 2016). Для решения поставленных задач необходимы совершенствование государственного механизма развития сбора и переработки пищевых лесных ресурсов путем разработки критериев выделения лесных участков, передаваемых в аренду для их заготовки, создание основ нормативной базы оценки и учета сырья и прогнозирования потенциальной продуктивности дикоросов, разработка схемы зонирования лесов. Организация многоцелевого лесопользования должна

опираться на прогноз динамики пищевых ресурсов и их потенциальных запасов в различных типах лесорастительных условий и при разных сценариях ведения лесного хозяйства и выявить наиболее благоприятные способы для совместной заготовки древесины и ягод.

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 С., 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 зона 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 освещённость 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 почвенного 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 от 17 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 печатных работ, в том числе 2 из перечня ВАК, 10 тезисов докладов на международных, всероссийских и национальных научных конференциях, 4 статьи зарегистрированы в системе цитирования Scopus, 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

1.1. Экологические условия произрастания наиболее распространенных видов ягодных растений

Среди пищевых недревесных ресурсов России важнейшую роль с точки зрения хозяйственного значения пищевых плодов играют лесные растения, принадлежащие к семейству брусничные (Vacciniaceae) – брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.¹), черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) и семейству розоцветные (Rosaceae) – малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.) (Черепанов, 1995; Егошина, 2005 а, б; Старицын, Беляев, 2014). Ягодники довольно широко распространены на территории России и наиболее продуктивны в среднетаежной и южнотаежной подзонах, а также в зоне хвойно-широколиственных лесов. Лесным ягодникам посвящены многочисленные публикации, в которых рассматриваются биологические характеристики и урожайность ягод в различных типах сообществ (Мазная, Лянгузова, 2010).

Черника – низкорослый листопадный летнезеленый кустарничек, высотой в среднем 15–40 см. Листья светло-зеленые тонкие. Цветки пазушные, одиночные. Плод – шарообразная ягода, черная, с сизым налетом, 6–12 мм в диаметре, верхушка ягоды приплюснута (Биологическая флора..., 1980). Ягода имеет высокую продуктивность в таежной зоне, а также в зоне хвойно-широколиственных лесов. Черника обыкновенная является доминантом или содоминантом в лесных растительных сообществах (Кислицына, Егошина, 2016; Егорова и др., 2019, 2021).

Кустарничек растет преимущественно на увлажненных бедных песчаных почвах, обычно кислых, с незначительным количеством извести (Landolt, 1977; Цыганов, 1983), но предпочитает более богатые почвы, чем брусника. Черника встречается достаточно широко, от полуоткрытых пространств до особо тенистых лесов, является теневыносливым растением, успешно функционирующим при 10%

¹ латинские названия растений даны по сводке Черепанова С.К. (1995)

от полной освещенности. По шкале Элленберга (Ellenberg, 1974, 1996) занимает 5 ступень светолюбия. К температурным изменениям более чувствительна, чем брусника, страдает от весенних заморозков, слабый снежный покров или его отсутствие в разреженном насаждении при отсутствии подлеска отрицательно влияет на развитие черники. Урожайность на микроповышениях обычно выше, что связано с более высокой температурой почвы и воздуха.

Наибольших урожаев черника достигает при средней сомкнутости полога, прямого солнечного освещения не переносит, что связано с разрастанием злаков и иссушением почвы (Зворыкина, 1970). Наиболее оптимальными условиями для плодоношения являются типы лесорастительных условий (ТЛУ) А2–А4, В3–В4 при полноте древостоя от 0,6 до 0,8 (Шабарова, 1980; Телишевский, 1986; Ярославцев, 2007; Никитенко, 2016; Малиновских, 2017). Плодоношение кустарничка наступает в возрасте 5 лет. Сезон созревания ягод в зоне средней полосы европейской части России начинается в первой половине июля. Вследствие холодной дождливой летней погоды процесс созревания может быть затянут до середины августа. Периодичность неурожайных годов составляет 3–4 года.

Брусника – вечнозеленый кустарничек, высотой 2,5–25 см, имеет кожистые многолетние листья длиной 0,5–2,5 см. Листовая пластинка сверху тёмно-зелёная, снизу светло-зелёная. Цветки собраны в кисти по 2–8 штук. Плод – шаровидная многосемянная блестящая ярко-красная ягода, 6–12 мм в диаметре. Продуктивен ягодник в зоне хвойно-широколиственных лесов, лесотундре, тайге (Биологическая флора..., 1978; Богданова, Муратов, 1978).

Кустарничек нетребователен в отношении почв, произрастает на бедных азотом кислых мелкопесчаных почвах. Отличается широкой экологической амплитудой, особенно по отношению к влаге, встречаясь как на сухих, так и на заболоченных местах. Брусника требовательна в отношении света, предпочитает открытые пространства или светлые леса, может произрастать и в тени, но в таких условиях плохо цветет и не плодоносит (Биологическая флора..., 1978). Брусника насекомоопыляемое растение, плохо опыляется в дождливую погоду, когда лет насекомых слабый. По Элленбергу брусника полутеневого вид, занимает более

освещенные места, чем черника (Ellenberg, 1974, 1996). Распространена дальше к северу из-за холодостойкости и возможности переносить бесснежные морозные зимы. В целом плодоношение ягодников имеет определенную периодичность – высокоурожайные годы чередуются с годами слабых и средних урожаев (Петров, 2019).

Брусника дает максимальные урожаи в редкостойных и среднесомкнутых сосняках (Брусника..., 1986). При высокой сомкнутости крон – от 0,6 до 0,8 образует плотные неплодоносящие заросли (Егошина, 2005 а, б). Обильно плодоношение брусники на участках с ТЛУ А2-А4, В2-В5, с полнотой от 0,3 до 0,4, освещенностью более 10%. Плодоношение кустарничка наступает в 10–14 лет. Начало созревания в Московской области в первых числах августа, полное созревание – начало сентября (Биологическая флора..., 1978).

Малина – листопадный полукустарник лесолугового типа. Полукустарник имеет многолетнюю подземную часть и стебли с двухлетним периодом жизни. Высота малины варьирует от 0,5 до 1,5 м. Побеги первого года зеленые с сизоватым налетом и тонкими шипами. На второй год побеги одревесневают и усыхают после плодоношения. Плод – сборная костянка или многокостянка, сочная, темно-красного, красного цвета, до 1,5 см в диаметре. Малина обыкновенная – бореальный вид, продуктивна в зоне хвойно-широколиственных лесов, лесостепной зоне и тайге (Биологическая флора..., 1996).

Для малины характерна высокая требовательность к плодородию почвы. Предпочитает хорошо дренированные средние суглинки с низкой кислотностью. Требовательна к влаге, которая необходима для ежегодного обновления надземной части растений. Наиболее благоприятные условия для развития складываются при выпадении большого количества осадков в месяцы вегетации. Может встречаться как на открытых, так и на затененных участках (Landolt, 1977; Цыганов, 1983). По данным И.В. Казакова (1994) малина один из наиболее требовательных видов по отношению к освещению, не выносит длительного затенения. По шкале Эллэнберга занимает 7 ступень светолюбия, относится к полусветовым растениям, растет в большинстве случаев при полной освещенности, но может и в тени – до

30% от полной освещенности. Малина умеренно требовательна к теплу, оптимальная среднесуточная температура 18–25 °С в период вегетации. Хорошо адаптирована к воздействиям экстремальных перепадов температуры в зимний период, так как является гемикриптофитом – растением, у которого почки возобновления находятся в поверхностном слое почвы и защищены растительной подстилкой и снегом.

Наиболее продуктивные ягодники формируются при ТЛУ А3, В3–В4, С3 на открытых местах, гарях, вырубках, опушках (Казанцева, Мирьяминова, 2017). На вырубках разрастание малины связано с исключением корневой конкуренции со стороны деревьев и усилением процесса нитрификации, чему способствует большая инсоляция и увеличение нагрева почвы (Горышина, 1979). Малина является эдификаторным средообразующим видом, формируя малинниковый тип вырубки. По мере восстановления леса заросли малины начинают испытывать недостаток света, доступного азота и постепенно отмирают (Биологическая флора..., 1996; Панин, Залесов, 2016, 2017). Малина начинает плодоносить на 3–4 год жизни. Созревание плодов наблюдается в середине июля и продолжается до августа.

На основе литературных данных интегрированы представления о наиболее благоприятных лесорастительных условиях для достижения производственной продуктивности ягод (табл. 1.1). Плодоношение видов в различных типах лесорастительных условий (ТЛУ) представлено в таблице 1.2.

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

Ягодники	ТЛУ	Возраст насаждения, год	Породный состав	Оптимальная полнота древостоя	Лесная зона/подзона
Черника	А2-4, В2-4, С2- С3	60 и более 40 и более	Сосна Ель Береза	0,6-0,8	хвойно-широколиственных лесов, тайга
Брусника	А2-4, В2-4, С3	40 и более	Сосна Ель Береза	0,3-0,4	хвойно-широколиственных лесов, лесотундра и тайга

Ягодники	ТЛУ	Возраст насаждения, год	Породный состав	Оптимальная полнота древостоя	Лесная зона/подзона
Малина	А2-3, В2-43, С2-4; Д2-4	-	Сосна Ель Береза	открытое место	хвойно-широколиственных, лесостепная зона и тайга

Таблица 1.2 - Плодоношение ягодников в различных типах лесорастительных условий (ТЛУ)

Ресурс\ТЛУ	А1	А2	А3	А4	А5	В1	В2	В3	В4	С1	С2	С3	С4	Д1	Д2	Д3
Черника		+	+	+			+	+	+		+	+				
Брусника		+	+	+			+	+	+			+				
Малина			+					+	+			+	+		+	+

Примечание. + - плодоносят

Методы прогнозирования и расчета величины пользования древесных ресурсов разработаны (Петров, 2012; Петров, Каткова, 2016; Шевелев, Невзоров, 2017), а аналогичные вопросы по учету пищевых ресурсов остаются открытыми (Поздняков, 1973). Оценки продуктивности лесных ягод имеют широкую вариабельность. Например, в среднетаежной подзоне, где сосредоточены наибольшие запасы ягод брусники и черники, средняя урожайность брусники составляет 90 кг/га, при этом диапазон колебаний большой: от 63 кг/га до 340 кг/га. Урожайность черники в среднем составляет 120 кг/га при варьировании от 80 до 500 кг/га (Белоногова, Румянцева, 1985; Биоресурсный потенциал..., 2005; Петров, 2019). Урожайность брусники в зоне хвойно-широколиственных лесов Центрального региона РФ невысокая, в среднем 60 кг/га, зафиксированные значения продуктивности находятся в пределах от 50 до 180 кг/га. Продуктивность черники в этой зоне также невысока, от 80 до 200 кг/га, средняя урожайность 100 кг/га (Конюхова, Масленникова, 2013; Егорова и др., 2019).

Подходы к оценке урожайности лесных ягодников делятся на долгосрочный прогноз (прогнозирование средней величины урожайности) и краткосрочный

прогноз для определенного растительного сообщества на ближайший сезон (прогнозирование возможного урожая по наличию цветочных почек и по объему и массе незрелых ягод с учетом температуры и влажности на вегетационный период). Долгосрочный прогноз удобен в применении, так как его использование не требует каких-либо дополнительных полевых наблюдений. Нормативы, построенные по этому принципу, позволяют прогнозировать среднюю величину урожая, используя только данные лесоустройства. Краткосрочный прогноз предполагает высокую точность, однако высокзатратен и трудоемок, а также не подходит для долгосрочного планирования, чаще используется как дополнение на определенном участке при проведенном долгосрочном прогнозе (Шевелев, 2011; Болтвина, 2016). Например, лабораторий лесного ресурсоведения Института леса и древесины разработаны методы краткосрочного прогнозирования урожая брусники, которые основаны на анализе пробных площадей во время цветения ягодников (Богданова, Муратов, 1978).

Известно, что урожай ягодников сильно варьирует в зависимости от погодных условий в период вегетации (Горобец, Славский, 2013). Год от года урожайность одного участка может меняться в зависимости от температуры, осадков, весенних заморозков (Астрологова, 1999). Весеннее потепление определяет интенсивность распускания цветочных почек (Раус, 1972). Заморозки и сухая погода в период цветения ведут к гибели части бутонов. Температура и достаточное количество осадков особенно важны летом в период образования плодов. Осенью и зимой эти факторы определяют закладывание почек и их сохранность до весны (Ярославцев, 2007). Лесные ягодники плохо опыляются в дождливую погоду, когда лет насекомых слабый. Учет всех этих факторов особенно важен для краткосрочного прогноза урожайности ягодников, для рекомендаций в предстоящий сезон. Долгосрочные же прогнозы возможной продуктивности ягодников основываются на данных многолетних наблюдений, таких как «Таксационный справочник по лесным ресурсам России (за исключением древесины)» (Курлович, Косицын, 2018), где представлены показатели средней многолетней урожайности, включающие и неурожайные годы. Для черники и

брусники из 10 лет обычно 3 года отличаются высоким, 4 года средним и 3 года слабым урожаем (Богданова, Муратов, 1978; Тимошок, 2019; Петров, 2019), естественно, данная формула варьирует в зависимости от показателей перечисленных выше. Долговременные изменения температуры или осадков не менее важны для лесных ягод, чем такие экстремальные явления, как засухи, сильные морозы, переувлажнение почвы. Именно климатические изменения влияют на показатели среднегодовой урожайности, рассматриваемые в модельном подходе.

1.2. Влияние рубок на продуктивность ягодников

Помимо естественных предикторов продуктивности ягодников, существует еще антропогенное воздействие. Хозяйственные мероприятия, такие как различные виды рубок древостоев, оказывают влияние на урожайность ягодников (Панин, 2019) из-за изменения светового и теплового режима под пологом, а также снижения корневой конкуренции растений. При выборочных рубках повышается общая освещенность участка, снижается полнота, появляются окна в древесном пологе, свет и тепло доходит до травяно-кустарничкового яруса. Через несколько лет эти окна вновь занимают древесные породы. После сплошных рубок, при условии проведения их в зимний период для сохранения ягодников, вырубленные участки становятся открытыми для прямых солнечных лучей. В результате проведения рубок изменяются микроклиматические условия, которые вызывают усиленное развитие живого напочвенного покрова, особенно злаков (Сергиенко, Соколова 2012). При этом каждый ягодник проявляет уникальную реакцию на последствия рубок.

После выборочных рубок со снижением полноты до 0,6 урожайность черники возрастает в 2,5 раза на протяжении 5–7 лет, затем стабилизируется в зависимости от условий возобновления (рис. 1.1), рисунок составлен на основе литературных источников, описанных в разделе 1.2. На участках, пройденных сплошными рубками, первые 2–3 года наблюдается постепенная деградация с последующим полным отмиранием кустарничков из-за интенсивного солнечного

света и конкурентного давления представителей напочвенного покрова. Восстановление плодоносящих черничников происходит через 40–50 лет (Зворыкина, 1972; Курлович и др., 2015).

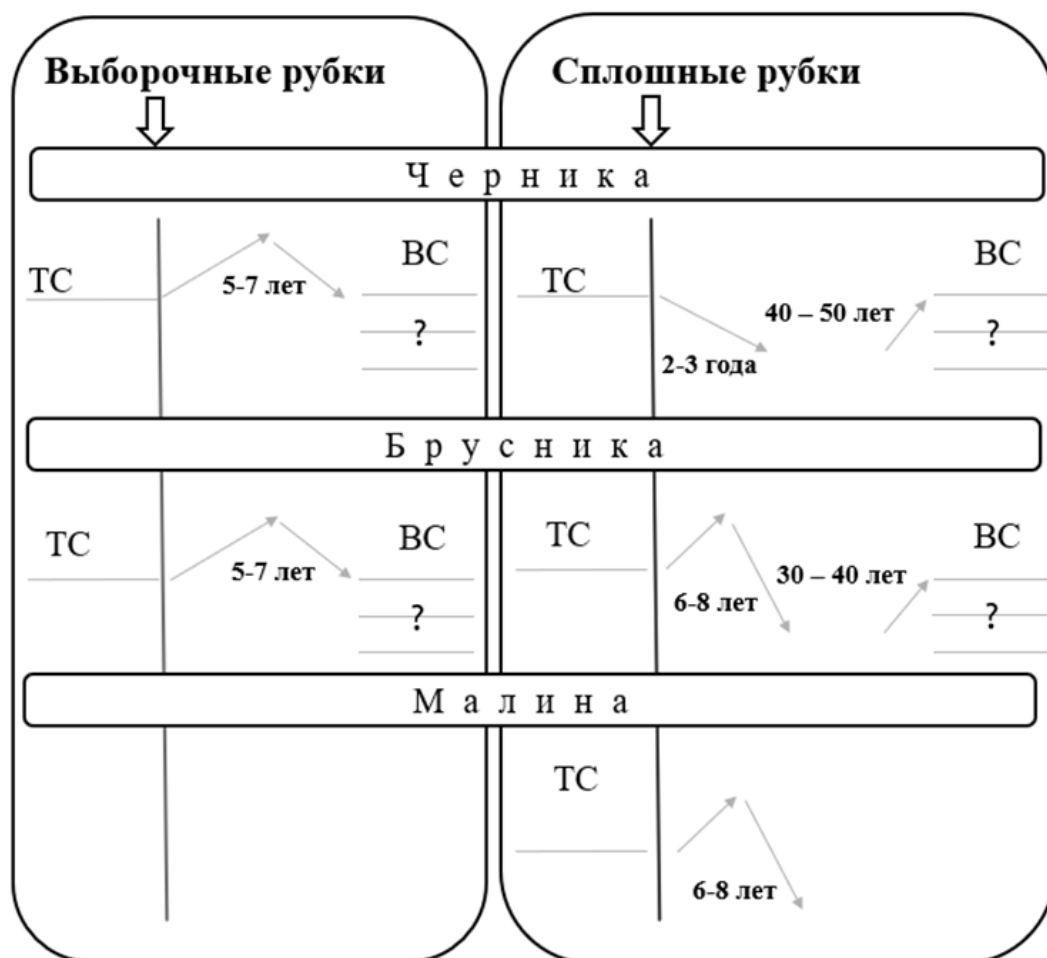


Рисунок 1.1 - Влияние рубок на плодоношение ягодников, где ТС – текущее состояние, ВС – восстановленное состояние в зависимости от типа условий

Повышение урожайности брусники происходит на участках, где проводились выборочные рубки с разреживанием полога до полноты 0,6 (Ключников, Ключников, 2001; Ключников, 2005). Первые 5–7 лет урожайность возрастает в 1,5 раза, затем стабилизируется до прежнего уровня. При проведении сплошных рубок наблюдается обильное плодоношение (Доан, Нешатаев, 2022) на протяжении 6–8 лет, затем ягодники угнетаются, восстанавливаясь полностью через 30–40 лет (Черкасов и др., 1988; Курлович и др., 2015).

Рост и продуктивность малины напрямую зависит от рубок, так как плодоносящие полкустарники формируются на свежих вырубках 2–3 лет. На вырубках 3–8 лет зафиксированы пики урожайности, далее угнетается порослью

лиственных древесных пород (Казанцева, Мирьяминова, 2017; Рай и др., 2020; Доан, Нешатаев, 2022).

По степени воздействия на лесные биогеоценозы рубка леса занимает одно из первых мест среди различного рода антропогенных факторов. Грамотными рубками можно увеличить продуктивность интересующего ресурса. Таким образом, при ведении многоцелевого лесопользования возможно регулировать урожайность пищевых ресурсов (Обыденников, 2002).

1.3. Обзор моделей прогноза урожайности лесных ягодников

В связи с увеличением заинтересованности в многоцелевом лесопользовании для увеличения доходности лесного участка, необходимо совместное прогнозирование использования древесины и пищевых недревесных ресурсов, что невозможно без моделирования (Булгаков и др., 1987; Лесное ресурсоведение..., 2008; Юркина, 2017).

В мировой практике уже начался переход на многоцелевое лесопользование. В Финляндии много работ посвящено исследованию урожая ягодников черники в разных условиях произрастания с учетом нескольких факторов (осадки, температура, влажность, тип леса, возраст древостоя), влияющих на продуктивность (Wallenius, 1999; Turtiainen et al., 2007, 2012). Показана зависимость величины урожая от них, наиболее урожайными для ягодников являются леса со средневозрастными древостоями и оптимальной влажностью почв. Также на продуктивность влияют суммы температур.

Эмпирические модели продуктивности ягодников, разработанные до 2009 года, были основаны на региональных данных об урожаях в Северной Карелии (Ihalainen et al., 2003, 2005). Модели Models for Bilberry Yield (Модели для урожая черники) и Models for Cowberry Yields (Модель для урожая брусники) используются для оценки урожая черники и брусники. Входными параметрами являются возраст и тип насаждения. Затем модели для урожая черники и брусники были откалиброваны с применением полевых данных об урожае в южной

Финляндии. Однако, эти модели не учитывали проективное покрытие черники как определяющий параметр урожайности.

С использованием Симулятора лесонасаждений MOTTI – Stand simulator MOTTI – стало возможно моделирование урожая черники на разных почвах в северной и южной Финляндии (Hunynen, Ojansuu, 2003; Hunynen et al., 2005).

В 2009 году разработан набор эмпирических моделей (Miina et al., 2009), прогнозирующих сначала площадь проективного покрытия черники «Models for the Percentage Coverage of Bilberry» (Model 1), а затем годовой урожай ягод в зависимости от характеристики насаждения – «Models for Bilberry Yield» (Model 2). Модели также позволяют рассмотреть прогнозы годовых колебаний урожайности. Модели разработаны для участков на минеральных почвах (Miina et al., 2010). В 2014 году разработана модель, которая помимо минеральных почв, включала торфяные. Затем годовые колебания урожая черники в период 2001–2014 гг. были смоделированы с использованием значительно большего ряда данных из MASI постоянных пробных площадях в Финляндии. Финское название MASI буквально означает ягоды (MArja) и грибы (Sleni), система основана на базах данных по ягодам и грибам. Модель 1 была подготовлена для прогнозирования средней площади проективного покрытия черники, основываясь на постоянных показателях – возраст, бонитет, ТЛУ. Модель 2 прогнозирует среднюю продуктивность черники в лесонасаждении. Входными данными являются площадь покрытия черники, высота насаждения и средняя эффективная температура. В 2015 г. рассчитана среднегодовая урожайность черники на 1997–2013 гг. с использованием данных MASI (Turtiainen et al., 2011, 2016). Аналогичные модели, прогнозирующие в два этапа площадь проективного покрытия, а затем урожайность, разработаны и для брусники – Model for the percentage coverage of cowberry, Model for cowberry yield (Turtiainen et al., 2005, 2013).

В других странах разработан ряд эмпирических моделей для видов рода *Vaccinium*. Во французских лесах использовали «Models predicting occurrences, as well as abundance, of *Vaccinium myrtillus*» – модели, прогнозирующие произрастание, а также обилие черники, которые используют климатические и

эдафические факторы: температура, осадки, солнечная радиация, водный баланс, pH почвы и соотношение C/N, чтобы прогнозировать урожайность черники (Coudun, Gegout, 2007). В Канаде модели черники и голубики разработаны для прогнозирования урожайности с использованием климатических переменных (Hall et al., 1982). В Швеции различные экосистемные услуги, включая урожайность ягодников черники, смоделированы для прогнозирования с использованием характеристик древостоя, климатических и эдафических факторов (Gamfeldt et al., 2013).

Для лесных экосистем в России применяется модель CAMPUS-S (Фролов, 2020), которая выполняет количественный анализ динамики популяций черники и брусники и оценивает вклад в динамику углерода. Входными данными для модели являются наборы различных видоспецифичных параметров и параметров окружающей среды. Модель не определяет урожайность ягодников в чистом виде, а также используемые входные характеристики недоступны для большинства лесных участков.

Российская модель FORRUS-S (FORest of RUSsia – Stand) предназначена для прогнозирования динамики таксационных характеристик многовидовых насаждений разного возраста на площади до сотен тысяч гектар (Чумаченко, 1993, 2007; Chumachenko et al., 1996, 2003). Модель относится к классу эколого-физиологических (объясняющих), пространственно-ориентированных моделей. Шаг моделирования 5 лет. Модель формирует новые таксационные описания, на основании которых внешние модули позволяют оценивать многие дополнительные характеристики, в том числе пищевые ресурсы леса. Сравнение характеристик моделей урожайности лесных ягодников представлено в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Характеристика моделей урожайности лесных ягодников

Название модели	Моделируемый ресурс	Входные параметры	Год	Регион	Пространственный уровень	Моделируемый показатель	Авторы
<p>Модель урожая черники Модель урожая брусники</p> <p>Models for Bilberry Yield Models for Cowberry Yields</p>	<p>Черника Брусника</p>	<p>Возраст, ТЛУ</p>	2003	Северная Карелия	Локальный	Урожайность	<p>M.Ihalainen, K.Salo, T.Pukkala</p> <p>(Ihalainen et al., 2003, 2005)</p>
<p>Симулятор лесонасаждений МОТТИ</p> <p>Stand simulator МОТТИ</p>	<p>Черника</p>	<p>Возраст, ТЛУ, тип почвы</p>	2005	Северная и южная Финляндия	Локальный	Урожайность	<p>J.Hynynen, R.Ojansuu</p> <p>(Hynynen 2003, 2005)</p>
<p>Модель проективного покрытия черники Модели урожая черники</p> <p>Model for the Percentage Coverage of Bilberry Models for Bilberry Yield</p>	<p>Черника</p>	<p>Возраст, ТЛУ, минеральные почвы</p>	2009	Южная Финляндия	Локальный	<p>Площадь проективного покрытия, урожайность</p>	<p>J. <u>Miina</u>, J.-P.<u>Hotanen</u>, K. <u>Salo</u>, T. Pukkala</p> <p>(Miina et al., 2009, 2010)</p>

Название модели	Моделируемый ресурс	Входные параметры	Год	Регион	Пространственный уровень	Моделируемый показатель	Авторы
<p>Модель проективного покрытия брусники</p> <p>Модели урожайности брусники</p> <p>Model for the percentage coverage of cowberry</p> <p>Model for cowberry yield</p>	Брусника	<p>Возраст, бонитет, ТЛУ, Высота</p> <p>Площадь проективного покрытия, средняя эффективная температура</p>	2014	Финляндия	<p>Локальный</p> <p>Региональный</p>	<p>Площадь проективного покрытия,</p> <p>Урожайность</p>	<p>M. Turtiainen, J. Miina, K. Salo, J.-P. Hotanen</p> <p>(Turtiainen et al., 2005, 2013)</p>
<p>Модель проективного покрытия черники</p> <p>Модель урожая черники</p> <p>Model for the Percentage Coverage of Bilberry</p> <p>Models for Bilberry Yield</p>	Черника	<p>Возраст, бонитет, ТЛУ, Высота</p> <p>Площадь проектив-ного покрытия, средняя эффектив-ная температура</p>	2016	Финляндия	<p>Локальный</p> <p>Региональный</p>	<p>Площадь проективного покрытия</p> <p>Урожайность</p>	<p>M.Turtiainen, J. Miina, K. Salo, J.-P Hotanen</p> <p>(Turtiainen et al.,2016)</p>
Модели, прогнозирующие произрастание, а	Черника	Возраст, состав насаждения, солнечная радиация,	2007	Центральная Франция	Локальный	Урожайность	C. Coudun, J. Gegout

Название модели	Моделируемый ресурс	Входные параметры	Год	Регион	Пространственный уровень	Моделируемый показатель	Авторы
также обилие черники Models predicting occurrences, as well as abundance, of <i>Vaccinium myrtillus</i>		температура, осадки, тип и влажность почвы					(Coudun, Gegout, 2007)
Модель динамики многовидовых разновозрастных лесных массивов - FORRUSS-S	Ягоды	Таксационные характеристики, ТЛУ, свет. климатические условия	1993	Россия	Локальный	Урожайность	С.И. Чумаченко (Чумаченко, 1993)

В настоящий момент на территории России определение запасов пищевого сырья проводится с использованием таксационных характеристик насаждений (ТЛУ, преобладающая порода, возраст, полнота). Конкретный алгоритм расчетов определяется наличием нормативно-справочных таблиц связи урожайности вида с таксационными характеристиками. Одним из известных подходов к оценке продуктивности лесных ягодников в России является использование таблиц биологической и производственной урожайности, представленных в книгах «Таксационный справочник по лесным ресурсам России (за исключением древесины)» (Курлович, Косицын, 2018) и «Руководство по учету и оценке второстепенных лесных ресурсов и продуктов побочного лесопользования» (Курлович и др., 2003). Они включают более 500 нормативно-справочных таблиц по основным видам недревесных ресурсов лесов России, которые систематизированы по лесорастительным зонам и входящим в них лесным районам, отражающим условия произрастания древесных пород.

Таблицы получены путём многочисленных оценок с закладкой пробных площадей для расчета продуктивности недревесных ресурсов. Используя таблицы, возможно прогнозировать урожайность недревесного ресурса практически в любом регионе. При отсутствии данных по продуктивности в анализируемом районе, авторы рекомендуют использовать таблицы по району со схожими условиями произрастания (Курлович, Косицын, 2019).

Руководство и справочник содержат данные по регионам РФ, что позволяет определить урожайность ягодников с поправкой на район произрастания. Это дает возможность применять его для всей территории России.

Основными переменными, влияющими на урожайность ягодников, являются таксационные характеристики лесных участков, используя эти данные можно спрогнозировать продуктивность ягодников.

В первую очередь, показателем, определяющим возможность произрастания, служит тип лесорастительных условий. В его основу положены эдафические факторы, показывающие плодородие почвы и ее влажность. Преобладающая порода определяет возможность произрастания ресурсов.

Возраст насаждения также определяет возможность плодоношения ягодников. Черника и брусника достигают производственных запасов в лесу, где возраст древостоев старше 40–60 лет. Это связано с достижением оптимального светового режима и ослаблением конкуренции с травянистыми растениями. Наибольшие запасы плодов малины зафиксированы в молодняках на вырубках, по мере развития древостоя густота и урожайность малины снижается.

Полнота древостоя – один из факторов, лимитирующих возможность произрастания ягодных растений, от которого зависит урожайность ягодников. От полноты зависит поступление под полог леса световой, тепловой энергии и осадков, а также состав и развитие растений, которые могут создавать конкуренцию ягодным кустарничкам (Мелехов, 1980; Лесная таксация..., 1991; Малиновских, 2017). Это можно объяснить тем, что при высокой полноте отсутствие растений связано с недостатком света и невозможностью фотосинтеза. При низкой полноте появляется большое количество конкурентных видов, которые вытесняют виды ягодных кустарничков (Грязькин и др., 2010; Беляева, Грязькин, 2012).

Ягодники привязаны к определенному световому режиму, что учитывается в таксационном справочнике через полноту. В таблицах справочника не уделено внимание многовидовым разновозрастным (разница в возрасте больше одного класса возраста по М.Е. Ткаченко (1952)) лесным насаждениям. При сходной полноте в многоярусном насаждении поток света, доходящий до напочвенного покрова, будет в разы ниже, чем в чистом (моновидовом) насаждении, а значит и продуктивность ягодников будет изменяться. Таким образом, использование показателя полноты, влияющего на продуктивность ягодников, без учета освещенности на уровне травяно-кустарничкового яруса не совсем корректно.

На основе полноты древостоя, породного состава 1 и 2 ярусов, а также подлеска и подроста, возможно рассчитывать освещенность, как более информативный фактор, влияющий на урожайность ягодников (Малиновских, 2016, 2017). Тогда интенсивность освещенности будет учитываться не на уровне верхнего яруса древостоя, а на уровне напочвенного покрова, что позволит более

точно оценить продуктивность и перспективы роста травяно-кустарничкового яруса, а также дать рекомендации формирования условий для развития многоцелевого лесопользования.

Подавляющее большинство представленных зарубежных моделей (Финляндия) работают и справляются со своими функциями преимущественно для одновидовых насаждений. Методика работы в многовидовых разновозрастных насаждениях в литературе не выявлена. Насаждения являются изменяющимися с течением времени объектами, в которых полнота, состав, возраст насаждений и другие параметры будут изменяться (Разнообразие и динамика..., 2013). Следовательно, моделировать урожайность ягодников необходимо с учетом динамики характеристик лесных насаждений, в том числе и под воздействием антропогенных факторов, такими возможностями обладает модель FORRUS-S.

Был проведен анализ работ по оценке синергии и конфликтов при совместной заготовке древесины и ягод. В России работ по соответствующей тематике не выявлено. По поиску литературы в рецензируемых зарубежных изданиях с использованием баз данных Web of Science (WoS), Scopus было установлено, что заготовка недревесных лесных ресурсов, таких как ягоды, может повысить общую рентабельность лесных насаждений. В ряде случаев стоимость заготовленных недревесных лесных ресурсов может превышать стоимость заготовленной древесины (Miina et al., 2020; Grammatikopoulou et al., 2021). Кроме того, оценка ягодников в таежной зоне говорит о необходимости управления древостоями в сторону принятия мер по повышению продуктивности ягодников, а совместное производство древесины и ягод является более прибыльным, чем производство древесины (Miina et al., 2016). Многие недревесные лесные ресурсы собираются непосредственно с определенных пород деревьев (сосновая смола и березовый сок), находятся в симбиотических отношениях с определенными видами деревьев (белый гриб с елью) или косвенно зависят от существования определенного вида деревьев – черника и брусника предпочитают сосновые насаждения. На данный момент было проведено лишь несколько исследований по потенциальному использованию смешанных лесов и непрерывного лесного хозяйства для смягчения

потенциальных конфликтов между различными экосистемными услугами, включая недревесные лесные ресурсы. В основном это связано с отсутствием моделей урожайности в смешанных и разновозрастных лесах (Miina et al., 2010; Pukkala et al., 2011; Pukkala, 2016, Eyvindson et al., 2018, 2019).

Заключение по главе 1

Анализ российской и зарубежной литературы позволил выявить экологические условия произрастания и плодоношения лесных ягодников. Установлено, что продуктивность ягодников тесно связана с таксационными параметрами. В комплекс определяющих урожайность факторов входят: лесная зона, ТЛУ, порода, возраст, полнота. Выявлено влияние различных видов рубок на продуктивность черники, брусники, малины. Установлены всплески урожайности при выборочных рубках и сроки восстановления после сплошных рубок.

Проведен сравнительный анализ моделей, определяющих урожайность ягодников. 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

2.1. Описание работы модели FORRUS-S

Для оценки урожайности черники, брусники, малины на территории равнинных лесов европейской части России используется модель динамики основных таксационных показателей многовидовых разновозрастных лесных массивов – FORRUS-S (Чумаченко, 1993, 2001, 2007; Chumachenko, 1996; Восточноевропейские леса, 2004).

Входными данными модели являются стандартные таксационные описания, планы лесных насаждений, базы биоэкологических данных (темпы роста в разных онтогенетических состояниях, отношение к свету, семенная и порослевая продуктивность и пр.), параметры ведения лесного хозяйства. Шаг моделирования 5 лет выбран, основываясь на данных популяционной биологии о времени, за которое происходят заметные изменения темпов роста, развития и отношения древесных растений к свету. Блок «Моделирование» состоит из двух моделей: «Естественное развитие» и «Экзогенные воздействия» (рис. 2.1).

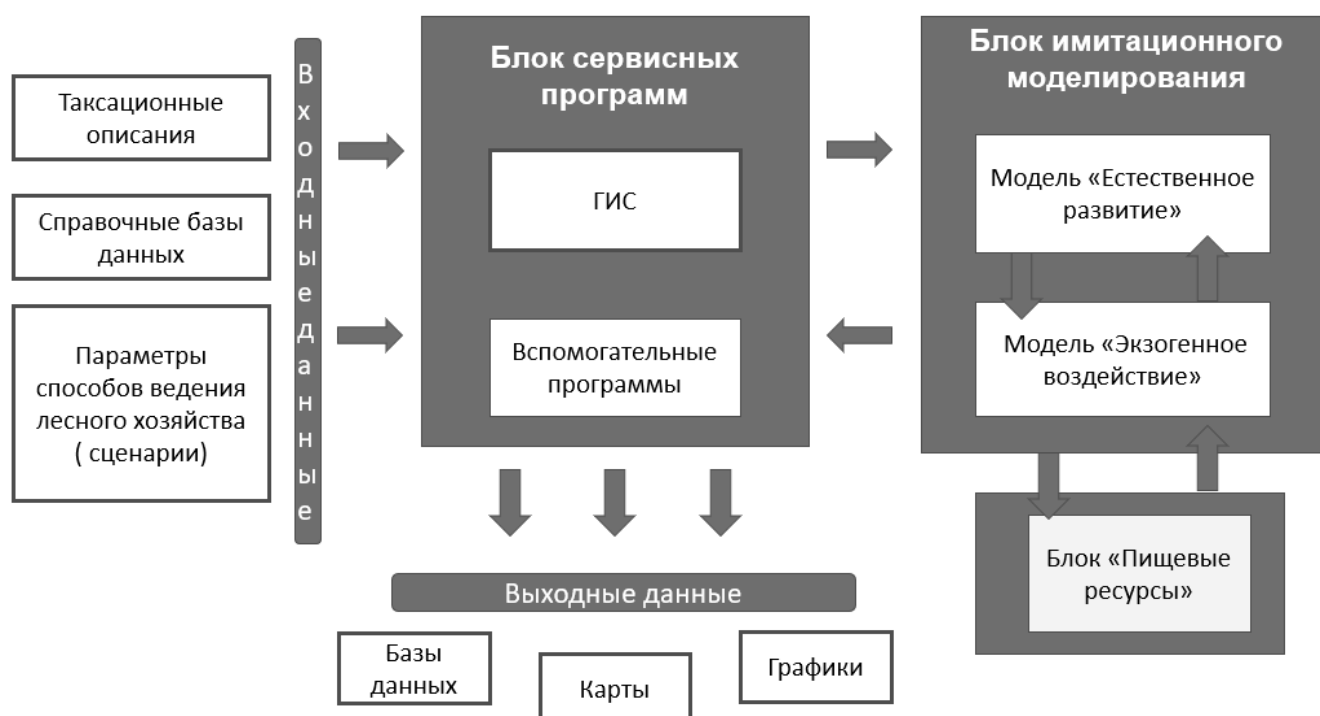


Рисунок 2.1 – Схема работы модели FORRUS-S (Chumachenko et al., 2020)

Модель "Естественное развитие" насаждений имитирует процессы, которые происходят в лесных насаждениях, такие как естественное возобновление и изреживание. В процессе моделирования прогнозируются изменения различных показателей древостоев, таких как высота, диаметр, полнота, запас и другие, для каждой когорты леса. Также учитывается изменение видового и возрастного состава каждого выдела. При расчете приростов учитываются световые условия в трехмерном моделируемом пространстве, а также тип лесорастительных условий и климатическая зона, определяющие потенциальные темпы роста. (Чумаченко и др., 2004, 2007, 2008).

Модель "Экзогенные воздействия" позволяет учесть множество внешних факторов, которые влияют на лесную экосистему. К таким факторам относятся различные виды лесохозяйственных мероприятий, такие как сплошные и выборочные рубки, посадка и уход за лесными культурами, гидромелиорация и внесение удобрений (Архипенко, Чумаченко, 2012).

Процесс работы модели начинается с загрузки стандартных данных для лесного хозяйства России, таких как таксационные описания и планы лесонасаждений. Затем данные преобразуются из двухмерного формата в трехмерный при помощи сервисных программ (рис. 2.2). На планы лесонасаждений накладывается равномерная сетка, таким образом, каждый выдел состоит из элементов размером 16,7x16,7 метра. Элемент является единицей моделирования, он обладает таксационными характеристиками выдела к которому принадлежит. Затем каждый выдел дополняется вертикальными прямоугольными параллелепипедами - ячейками высотой 2,5 метра, чтобы каждый элемент стал трехмерным. Каждая ячейка является минимальной неделимой единицей трехмерного пространства модели. Это представление позволяет рассчитывать световой поток и прирост древостоев в любой точке моделируемого пространства (Чумаченко, 2006 б).

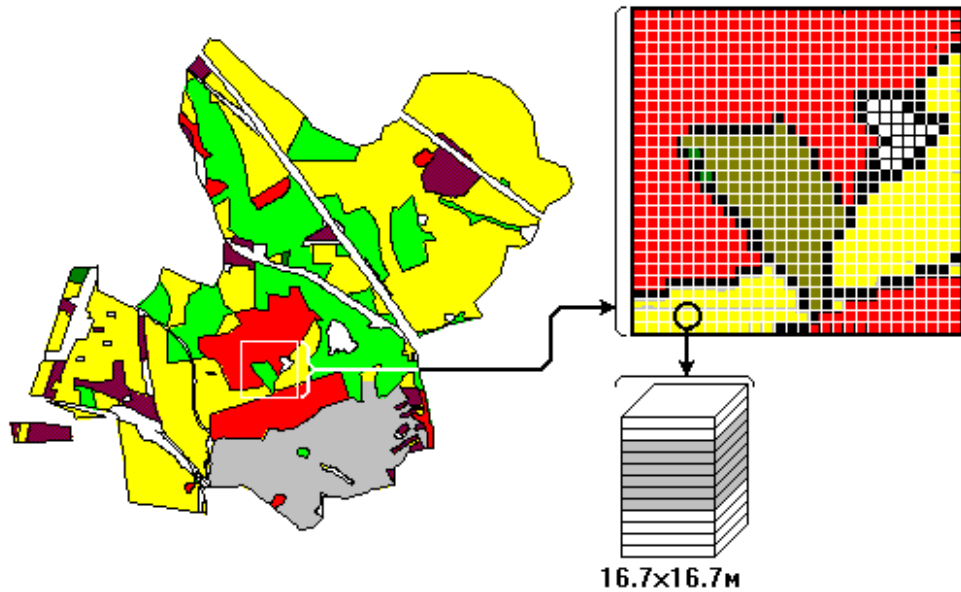


Рисунок 2.2 - Преобразование исходной пространственной информации (Чумаченко, 2006 б)

FORRUS-S использует справочные базы биоэкологических параметров основных видов деревьев зоны хвойно-широколиственной и таежной зоны равнинных лесов европейской части России (табл. 2.1).

Таблица 2.1 - Основные справочные базы модели FORRUS-S

Справочные базы	Описание
Биометрические характеристики кроны	<p>Форма кроны деревьев в модели аппроксимируется с использованием комбинации простейших тел вращения, таких как конус и цилиндр (рис. 2.3).</p> <p>Рисунок 2.3 - Определение коэффициента пропускания ячеек, где: H_0 – средняя высота когорты; H_T – высота теневого конуса; H_K – высота кроны; C_y – цилиндрическая часть кроны; C_o – коническая часть кроны (Чумаченко, 2006 б)</p>

Справочные базы	Описание
	Высота конуса (Co) и высота цилиндра (Cy) определяются для каждого дерева. В модели также учитывается структура распределения фитомассы внутри кроны, которая описывается с помощью теневого конуса и зоны активного роста. Теневой конус не содержит фотосинтезирующих элементов, в то время как зона активного роста представляет собой часть кроны, где находится большая часть зеленой фитомассы дерева
Требовательность к свету	Деревья имеют определенное минимальное значение ФАР, при котором нижние ветви отмирают из-за недостатка света. Это называется теневыносливостью когорты. Также есть оптимальное значение ФАР, при котором одновидовые разновозрастные древостои нормально развиваются в соответствии с таблицами хода роста (Цельникер, 1978; Евстигнеев, 1991)
Коэффициент пропускания света кроной	Учитывая годовой ход солнца по небосводу, для каждой когорты рассчитывается отношение входной световой энергии на единицу длины кроны (Алексеев, 1975; Цельникер, 1978)
Таблицы хода роста чистых (моновидовых) насаждений	Продуктивность лесных насаждений хвойно-широколиственной и таежной зон европейской части России (Козловский, Павлов, 1967; Лесная таксация..., 1991; Швиденко и др., 2006).
Потенциальные бонитеты	Максимально возможные бонитеты, которые могут быть достигнуты древостоями в каждом ТЛУ с учетом климата на основе эдафической сетки П.С. Погребняка (Погребняк, 1955) и Д.В. Воробьева (Воробьев, 1953)

2.2. Структура входных данных для модели FORRUS-S.

Для описания объекта моделирования стандартные таксационные описания преобразуются в следующие данные: 1) SKNR.DBF – общее описание моделируемого объекта (табл. 2.2); 2) 1J.DBF – описание 1 яруса древостоя (табл. 2.3); 3) 2J.DBF – описание 2 яруса древостоя (табл. 2.4); 4) 3J.DBF – описание подраста (табл. 2.5); 5) 4J.DBF – описание подлеска (табл. 2.6).

Таблица 2.2 - Фрагмент таблицы SKNR.DBF для части квартала 2 Данковского лесничества (основные данные)

KV	SKNR	PL	МК	ZK	VMR	AGR	BON	MTIP	DTG
квартал	выдел	площадь	Категория защитности	Категория земель	Порода	Группа возраста	Бонитет	Тип леса	ТЛУ
2	1	1,10	ЗЕЛЕННЫЕ ЗОНЫ	НАСАЖД.ЕСТЕСТВ.ПРОИСХ.	Б	4	1	ЕЧРШ	С3
2	5	0,10	ЗЕЛЕННЫЕ ЗОНЫ	БОЛОТО		0	0		-
2	16	0,80	ЗЕЛЕННЫЕ ЗОНЫ	КУЛЬТУРЫ ЛЕСНЫЕ	Е	2	2	ЕЧРШ	С3

Таблица 2.3 - Фрагмент таблицы 1 яруса насаждения 1J.DBF для части квартала 2 Данковского лесничества (основные данные)

KV	SKNR	KF1	MR1	AMZ1	H1	D1	KF2	...	D10	N10	SKAL	TUR1H	T1	T2	T3
Квартал	Выдел	K1	Порода	Возраст	Высота	Диаметр	K2		Высота 10	Диаметр10	Полнота	Запас на 1га	КТ1	КТ2	КТ3
2	1	9	Б	65	27,0	28,0	1,0				0,6	192	2	3	
2	5	10	Б	3	1,0	0,5	0,0				0,1	1			
2	16	5	Е	50	20,0	20,0	2,0				0,9	340			

Таблица 2.4 - Фрагмент таблицы описание 2 яруса насаждения 2J.DBF для части Данковского лесничества (основные данные)

KV	SKNR	KF1	MR1	AMZ1	H1	D1	KF2	...	D10	N10	SKAL	TUR1H	T1	T2	T3
Квартал	Выдел	K1	Порода	Возраст	Высота	Диаметр	K2		Высота 10	Диаметр10	Полнота	Запас на 1га	КТ1	КТ2	КТ3
4	9	10	Е	18	5,0	4,0	0,0				0,4	15			
4	29	10	Е	40	13,0	12,0	0,0				0,4	80			
7	14	10	Е	40	10,0	8,0	0,0				0,4	60			

Примечание. K1, K2, K3 ... - доли 1, 2, 3 и т.д. пород в формуле состава древостоя; КТ1, КТ2, КТ3 ... - класс товарности 1, 2, 2 породы

Таблица 2.5 - Фрагмент таблицы описания подроста 3J.DBF для части Данковского лесничества (основные данные)

KV	SKNR	KOL	H	AMZ	H1	AMZ1	KF1	MR1	...	H7	AMZ7	KF7	MR7
Квартал	Выдел	Кол. тыс.шт	Высота	возраст	Высота 1 породы	Возраст 1 породы	Доля 1 породы	1 порода		Высота 7 породы	Возраст 7 породы	Доля 7 породы	7 порода
1	1	3.0	3.0	30			10	Е				0	
1	3	2.0	3.0	20			10	Е				0	
2	35	2.0	3.0	30			10	Е				0	
3	2	3.0	3.0	30			10	Е				0	

Таблица 2.6 - Фрагмент таблицы описания подлеска 4J.DBF для части Данковского лесничества

KV	SKNR	STG	MR1	MR2	MR3	MR4	MR5	MR6	MR7
Квартал	Выдел	Густота	Порода 1	Порода 2	Порода 3	Порода 4	Порода 5	Порода 6	Порода 7
1	1	2	КРЛ	Р					
1	2	1	ЛЩ	Р					
1	26								
1	27								
2	1	2	КРЛ	Р					
2	2	2	КРЛ	Р					
2	3	2	КРЛ	Р	БРК				

Примечание. Густота 1 – редкий подлесок, 2 – средней густоты, 3 – густой

2.3. Расчет урожайности лесных ягодников с учетом освещенности на уровне напочвенного покрова методами имитационного моделирования

В работу модели заложен алгоритм вычисления световых характеристик лесного насаждения. 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 относительная освещенность на уровне напочвенного покрова с использованием коэффициентов пропускания света всей растительности на выделе. Подробный расчет световых характеристик и эксперимент по верификации представлены в диссертации С.И. Чумаченко (Чумаченко, 2006 а).

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). Схема работы модели представлена на рисунке 2.1.

Выполнено сопоставление полноты модельных древостоев и освещенности (рассчитанной в модели) в моновидовых древостоях. Вычислены значения для каждой древесной породы, например, для ели и сосны освещенность при одинаковой полноте значительно различается. Изменения освещенности в зависимости от полноты древостоя представлены на рисунке 2.4. Исходя из этого, для различных пород, при одинаковых полнотах относительная освещенность на уровне напочвенного покрова значительно различается, при полноте 0,5 освещенность под пологом еловых древостоев составляет 16% относительно освещенности открытого места, сосновых и березовых 21 и 28% соответственно. Аналогичные уравнения составлены для всех возрастов, пород и бонитетов. В результате проведенного сопоставления стало возможно определить, какая

освещенность соответствует разнополнотным древостоям (Колычева, Чумаченко, 2021). Уравнения работают только в древостоях, где полнота больше нуля.

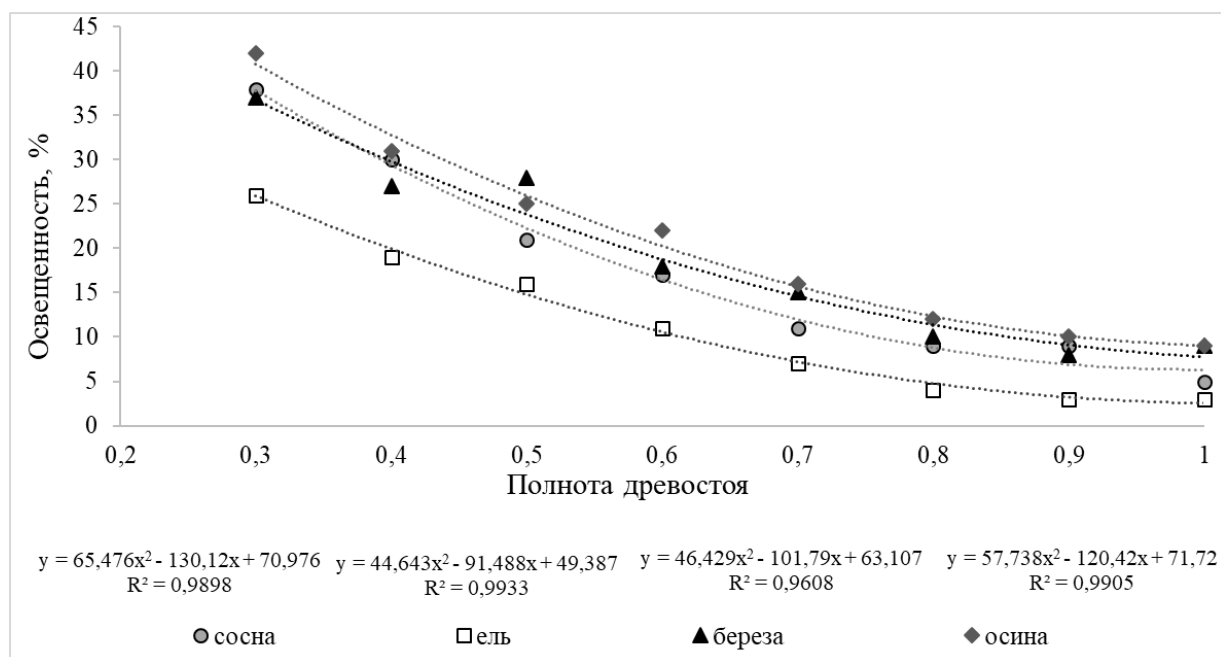


Рисунок 2.4 – Зависимость относительной освещенности на уровне напочвенного покрова от относительной полноты для древостоев сосны (90 лет), ели (90), березы (60), осины (40)

Проанализированы имеющиеся данные урожайности черники, брусники и малины из «Таксационного справочника по лесным ресурсам России (за исключением древесины)» (Курлович, Косицын, 2018). Зафиксированы урожайности ягодников для различных чистопородных древостоев, сначала в зависимости от полноты. Затем значения полноты были заменены на рассчитанные выше показатели освещенности (рис. 2.4) 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.

Выведены уравнения зависимости, применимые в модели FORRUS-S (табл. 2.7), где коэффициент детерминации от 0,73 до 0,96, что показывает сильную связь между значениями урожайности и освещенности. Условиями для их применения является комплекс характеристик, при которых работа уравнений не противоречит экологическим оптимумам произрастания ягодников: тип лесорастительных условий, порода, коэффициент состава, максимальный и минимальный возраст,

максимальная и минимальная освещенности. Учитывая эту совокупность факторов, появляется возможность спрогнозировать урожайность ягодников при любом значении освещенности. Полная разработанная база данных с диапазонами допустимых возрастов и освещенностей, используемая в расчетах, представлена в Приложении А.

Таблица 2.7 - Уравнения зависимости для расчета урожайности лесных ягодников

Ягода	ТЛУ	Порода	Уравнения	R ²
Черника	А3, В3, С3	Сосна, ель, береза	$Y = -0,6 \times X^2 + 24,12 \times X - 85$	0,81
	В2, С2		$Y = -0,9 \times X^2 + 41,5 \times X - 296$	0,84
	А4, В4		$Y = -0,3 \times X^2 + 16,5 \times X - 68,9$	0,77
Брусника	А2, В2		$Y = 16,3 \times \ln(X) - 14,3$	0,88
	А3	$Y = 27,1 \times \ln(X) - 49$	0,76	
	В3, С3	$Y = -21,7 \times \ln(X) + 9,1$	0,72	
Малина	А3	$Y = 0,8 \times X + 12,3$	0,83	
	В3, В4	$Y = 1,1 \times X + 2,5$	0,95	
	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

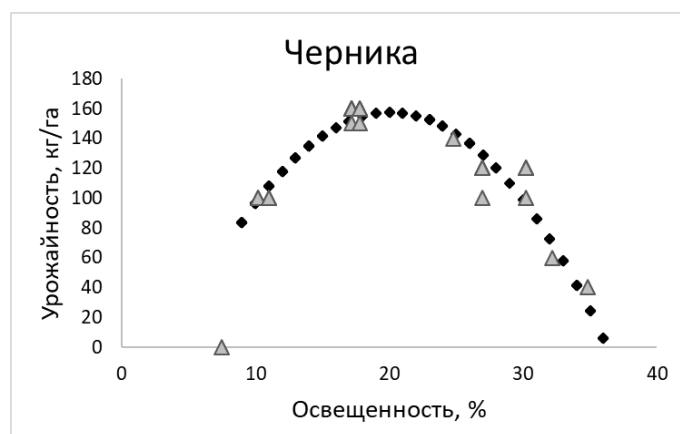
На графиках рисунка 2.5 справочные значения урожайности ягодников представлены серыми треугольниками. Тренды уравнений представлены на графиках черными точками и были сгруппированы для различных типов лесорастительных условий.

Черничники (рис. 2.5а) имеют куполообразные параболические зависимости, что обусловлено предпочтениями черники к средней освещенности. Наиболее высокие урожаи достигаются при освещенности 15–27%. Освещенность ниже 8% не обеспечивает протекание жизненных процессов ягодника, света недостаточно для воспроизводства. При значениях освещенности более 35% кустарничек вытесняется светолюбивыми конкурентными видами.

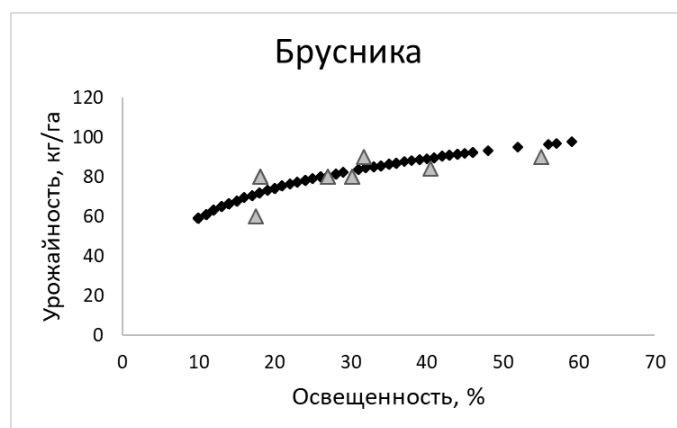
Для брусничников графики представлены логарифмическими зависимостями (рис. 2.5б). Производственную продуктивность возможно получить только в

насаждениях с освещенностью более 25%, так как брусника встречается в разреженных древостоях, где под полог доходит до 80% света.

а)



б)



в)

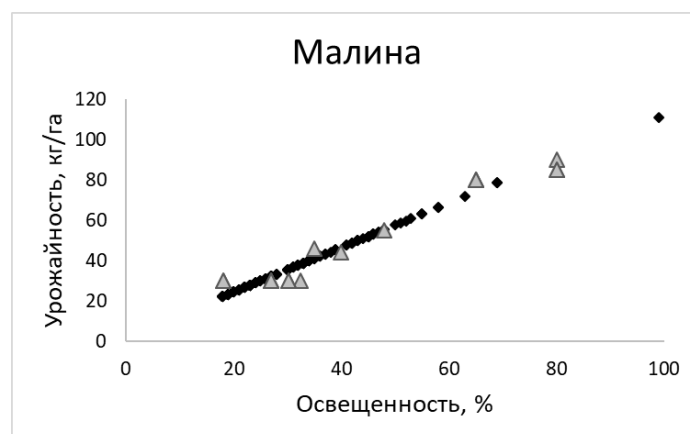


Рисунок 2.5 - Тренды зависимости урожайности лесных ягодников в ТЛУ ВЗ а) черники, б) брусники, в) малины от освещенности на уровне напочвенного покрова

Малинники (рис. 2.5в) являются самыми светлюбивыми ягодниками, начинают плодоносить с освещенностью в пологе от 20% и повышают свою

урожайность на открытых местах с освещенностью до 100%. Зависимость урожайности от освещенности описана линейным уравнением.

Вместе с прогнозом продуктивности ягодников в моновидовых древостоях 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. 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.

Так как на мозаичное распределение напочвенного покрова влияют кроны деревьев (Карпачевский, 1977; Крышень, 2006; Геникова, 2012), было принято решение производить оценку влияния каждой породы в насаждениях пропорционально площади кроны, а не запасу породы. Используемые в модели характеристики: порода, возраст, онтогенетическое состояние, габитус кроны и высота её крепления – дают возможность определить площадь, занимаемую кронами всех деревьев на выделе, а затем и на какую площадь ягодников влияет каждая порода. После получения значений по урожаю под кроной каждой породы значения суммируются и выдаются в килограммах на выдел.

Исходя из изложенного выше, ясно, что на продуктивность ягодников влияют все компоненты лесного сообщества, поэтому, в моделирование включены имеющиеся на лесном участке подрост и подлесок. Входными данными для учета подрост являются его количество на выделе, высота, возраст и породный состав, а для подлеска – породный состав, густота. Эта информация позволяет включать подрост и подлесок в расчеты освещенности на уровне напочвенного покрова. 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.

2.4. Объекты исследования

Для анализа и верификации работы модели выбраны объекты, расположенные в разных лесорастительных зонах европейской части России (рис. 2.6), с отличающимися характеристиками, чтобы более плотно проследить за урожайностью ягодников в различных условиях. В основу лесорастительного районирования объектов исследования взята классификация С.Ф. Курнаева (1973), где подзоны средней и южной тайги совпадают с действующим приказом «Об утверждении перечня лесорастительных зон РФ» (Приказ министерства..., 2014). Хвойно-широколиственные леса в зональном лесорастительном делении С.Ф. Курнаева подразделяются на более дробные подзоны смешанных лесов с выделением различных типов преобладающих пород, поэтому в работе было решено придерживаться классификации согласно приказу (Приказ министерства..., 2014), где выделяется крупная зона хвойно-широколиственных лесов.

Лесорастительные районы совпадают с основными экономическими центрами заготовки лесной пищевой продукции, а именно – северо-западным (Карелия, Псковская, Архангельская, Ленинградская и др.) и центральным (Владимирская, Вологодская, Московская, Нижегородская и др.) (Панин, 2022). Районы отличаются экономическими производственными условиями и направлением сбыта готовой продукции.

Верификация блока «Пищевые ресурсы» модели FORRUS-S была проведена на экспериментальных участках по данным пробных площадей, описанных в летописях природы заповедников. Государственный природный биосферный заповедник «Брянский лес» (Брянская область, Суземский район) (далее «Брянский лес») и Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник им. М.А. Заблоцкого (Московская область, городской округ Серпухов) (далее Приокско-Террасный) – на карте (рис. 2.6) обозначены кругами Э1 и Э2 соответственно. Прогнозные оценки с использованием модели осуществлены на четырех участках, на карте указаны треугольниками с номерами: 1 – Данковское участковое лесничество (Московская область), 2 – водосбор реки Маньга

(Республика Карелия), 3 – Серая лошадь (Нижегородская область), 4 – Паше-Капецкое участковое лесничество (Ленинградская область). Сравнительная характеристика объектов представлена в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Характеристика объектов исследования

Объект	Лесная зона / подзона	Площадь , га	Состав	Средний возраст	Средняя полнота
<i>Модельные объекты</i>					
Московская область Данковское участковое лесничество Объект Данки	Хвойно-широколиственные	6837	6Б2Е1С1ОС+Д+Л П	53	0,73
Республика Карелия водосбор р.Маньга Объект Маньга	Средняя тайга	16775	5Б3Е2С+ОС	61	0,69
Нижегородская область территория конного клуба Серая лошадь Объект Серая лошадь	Южная тайга	8238	5С3Б1ОС1Е+Д+Л П	58	0,68
Ленинградская область Паше-Капецкое участковое лесничество	Южная тайга	25129	4С3Е2Б1ОС+ОЛС	65	0,65
<i>Экспериментальные точки</i>					
Брянская область «Брянский лес»	Хвойно-широколиственные	-	10С+Б	65	0,7
Московская область Приокско-Тerrasный		-	6С2Е2Б	80	0,6

Первый объект – Данковское участковое лесничество, которое является частью опытного лесного хозяйства «Русский лес», расположенного в южной части Московской области (далее объект Данки) находится в зоне хвойно-широколиственных лесов. Климат умеренно континентальный с теплым и часто дождливым летом и умеренно холодной зимой. Среднее количество осадков – 491 мм. Средняя температура января составляет 10,6 °С. Слабоподзолистые, слабо дифференцированные почвы сформировались на бедных песках под сосновыми лесами (Экосистемы..., 1979). Зональным типом растительности являются полидоминантные елово-широколиственные леса, в составе которых представлены дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), вяз шершавый (*Ulmus glabra* Huds.), вяз гладкий (*U. laevis* Pall.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), ель европейская (*Picea abies* (L.) H.Karst.) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). В долинах малых рек распространены леса с преобладанием ольхи черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth) (Растительность..., 1980).

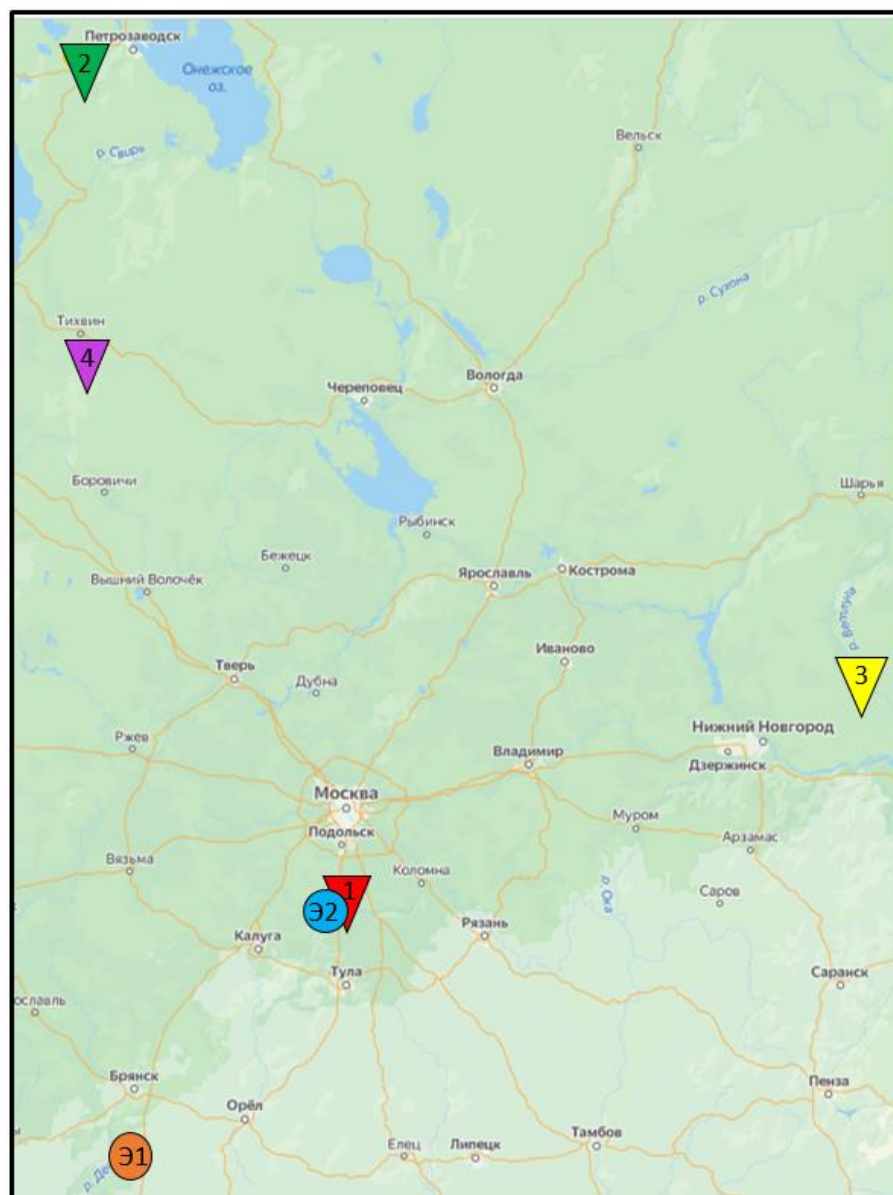


Рисунок 2.6 - Расположение объектов исследования и экспериментальных точек: 1 – Московская область, объект Данки; 2 – Республика Карелия, объект Маньга; 3 – Нижегородская область, объект Серая лошадь; 4 – Ленинградская область, объект Паше-Капецкое лесничество
Э1 – Брянская область, заповедник «Брянский лес»; Э2 – Московская область, Приокско-Террасный заповедник

Площадь лесничества 6 837 га, состав насаждения представлен в долях 6Б2Е1С1ОС+ Д +ЛП, средний возраст 53 года, полнота 0.73. Типы лесорастительных условий на территории лесничества имеют широкий диапазон, от А2 до С4. Среди них выявлены доминирующие условия: 39% площади лесничества представлено типом С3, по 21% – С2 и В2, 12% территории занимает ТЛУ В3. В настоящее время территория относится к защитным лесам, проводятся только санитарные рубки, пищевые ресурсы используются для собственных нужд населения, крупных промышленных заготовок нет.

Третий объект находится в южно-таежной подзоне – Воскресенское лесничество Нижегородской области, 8238 га (участки входят в ООО «Племзавод «Серая лошадь» (далее Серая лошадь). Климат умеренно континентальный с холодной продолжительной зимой и теплым сравнительно коротким летом. Средняя годовая температура воздуха составляет 2,9°C. Среднегодовое количество осадков 550–600 мм (Колобов, 1968). Рельеф территории лесничества равнинный. Типы почв: подзолы, подзолистые, дерново-подзолистые (Никитин, 1978; Куприянов и др., 1995). В ботанико-географическом плане территория относится к южной тайге Валдайско-Онежской подпровинции Североевропейской таежной провинции Евразийской таежной области. В лесах преобладают хвойные и мелколиственные сообщества из *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Tilia cordata* и др. (Растительность..., 1980). На лесном участке преобладают многовидовые насаждения, средний состав 5СЗБ1ОС1Е+Д+ЛП. Средний возраст насаждений 58 лет. Средняя относительная полнота 0,68. Выделы представлены различными ТЛУ от А2 до С5, преобладают на территории В2 – 50%, В3 – 15%. Основные виды деятельности ООО «Племзавод «Серая лошадь» – заготовка древесины, осуществление рекреационной деятельности, охоты, ведение сельского хозяйства.

Четвертый объект – Паше-Капецкое участковое лесничество арендного участка ИКЕА-Индастри Тихвин, расположенное на востоке Ленинградской области, в Тихвинском районе. Площадь объекта 25 129 га. Ленинградская область относится к зоне умеренного климата, переходного от континентального к океаническому с относительно мягкой зимой и умеренно теплым летом, рельеф равнинный. Количество осадков за год 600–700 мм (Исаченко, 1965). Территория находится на границе подзон средней и южной тайги, в соответствии с лесохозяйственным районированием относится к Балтийско-Белозерскому таежному лесному району, среднетаежному району европейской части России (Растительность..., 1980). Средний возраст насаждений 69 лет, полнота 0,74. На объекте преобладают многовидовые насаждения, средний состав 4СЗЕ2Б1ОС+ОЛС. Выделы представлены различными ТЛУ от А2 до С5,

преобладают на территории В2 – 26%, А2 – 22%. Большая часть территории относится к эксплуатационным лесам. Основные разрешенные виды деятельности – заготовка древесины и живицы.

2.5. Верификация модельных расчетов

Для верификации модельных расчетов были выбраны экспериментальные участки, которые находятся в сходных условиях с объектом Данки, в зоне хвойно-широколиственных лесов (рис. 2.6). Для работы использованы ведущиеся в заповедниках летописи природы. В летописях природы сконцентрированы результаты наблюдений за природными процессами и явлениями. Возможность использования данных заповедника «Брянский лес» и Приокско-Террасного заповедника для верификации связана с многолетним учетом продуктивности ягодников на площадках. Сохраненные описания многолетних исследований урожайности позволяют сопоставить натурные результаты с получаемыми в модели за пятилетние шаги.

Проверка расчета урожайности брусничников проведена на примере пробной площади в Приокско-Террасном заповеднике, ее характеристика представлена в таблице 2.9. По данным из таксационных описаний в 1982 году площадь представляла собой многовидовое насаждение состава 6С2Е2Б с полнотой 0,6 в возрасте 80 лет, ТЛУ В3. По мере роста и развития насаждения полнота на участке увеличивается до 0,7, к 2015 году появился развитый подрост 10Е и средний подлесок. По показателям урожайности за весь период наблюдений построен график (рис. 2.5) ежегодная урожайность отмечена черными пунктирными линиями с 1972 по 2013 год (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.

Проверка работы модели начинается с подготовки входных файлов для загрузки исходного таксационного описания в модель FORRUS-S и прогноза урожайности ягодника на участке с шагом 5 лет. Полученные значения урожайности нанесены на график и обозначены точками (рис. 2.7). По натурным результатам была построена кривая, описывающая усредненную урожайность с шагом 5 лет (на графике сплошная линия). Линия усредненной натурной урожайности и модельные результаты имеют сходные тренды. С начала моделирования урожайность возрастает, достигает пика в 1985 году, далее урожайность ягодника снижается и к 2010 году деградирует.

Таблица 2.9 - Характеристика экспериментального участка в Приокско-Террасном заповеднике

	1982	2000	2015
Состав древостоя	6С2Е2Б	6С2Е2Б	7С1Е2Б
Диаметр	35	40	44
Высота	26	30	31
Возраст	80	100	110
Бонитет	1	1	1
ТЛУ	В3	В3	В3
Полнота	0,6	0,7	0,7
Подрост		10Е	10Е
Высота			3
Возраст			25
Кол-во			0,5
Подлесок		средний	средний

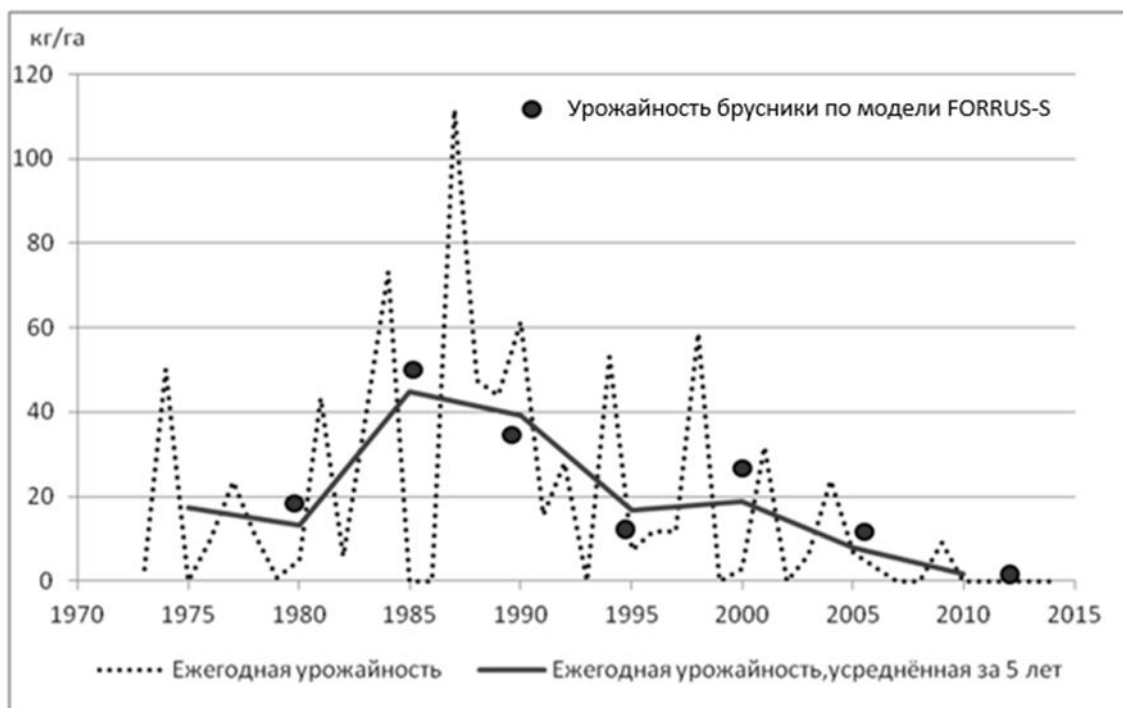


Рисунок 2.7 – Проверка работы модели для брусники

Произведена оценка соответствия между результатами моделирования и натурными данными, рассчитан коэффициент детерминации $R^2 = 0,89$, который характеризует случайные отклонения модельных значений относительно результатов натуральных наблюдений, и коэффициент наклона аппроксимирующей прямой 0,91, характеризующий систематические отклонения (рис. 2.8).

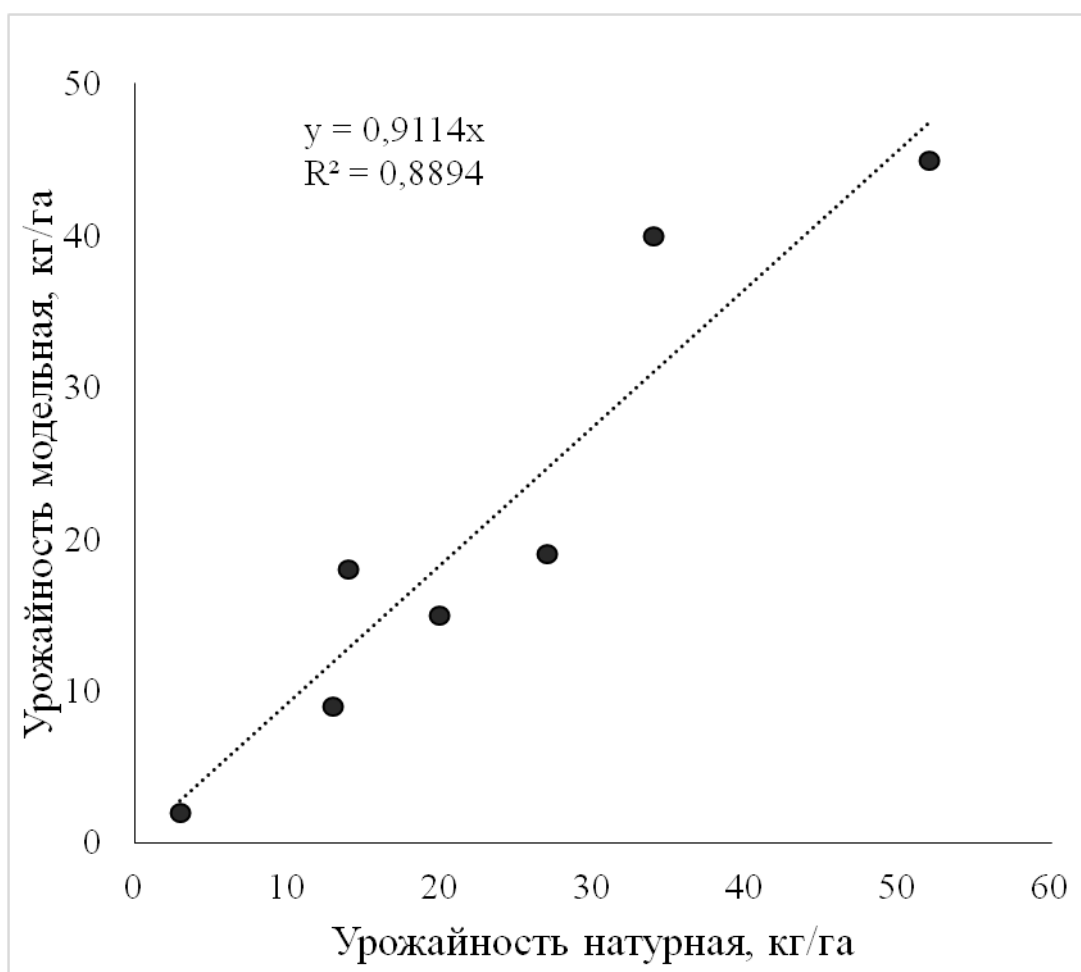


Рисунок 2.8 – Сравнение натурной и модельной урожайности для брусники

В ходе сравнения результатов, полученных с использованием модели и натуральных многолетних описаний урожайности кустарничка, была рассчитана погрешность работы блока «Пищевые ресурсы» модели FORRUS-S. Погрешность учета урожая брусники за 35 лет по сравнению с суммарной урожайностью на экспериментальном участке Приокско-Террасного заповедника составила 19%.

В обоих случаях (натурный и модельный) проявляется влияние полноты, подроста и подлеска на урожайность брусники. При прогнозировании урожайности ягодника подтверждена необходимость учета освещенности на уровне напочвенного покрова. Использование таксационных данных в комплексе с освещенностью обеспечивает высокую точность прогноза (Дулина, Чумаченко, 2019).

Проверка работы модели для черничников была проведена аналогичным методом по данным многолетних наблюдений из летописей природы заповедника

«Брянский лес» (Летопись природы Государственного природного биосферного заповедника «Брянский лес», 2012, 2017). Экспериментальный участок представлен насаждением состава 10С+Б в возрасте 65 лет, ТЛУ А3 (табл. 2.9). Описание участка взято из таксационного описания 1993 года. К 2006 году структура насаждения изменяется, появляется подрост 5Д4Б, при этом полнота остается неизменной.

Проанализирована урожайность ягодника за учетный период, на рисунке 2.9 она обозначена черной пунктирной линией. На графике отражено присутствие высокоурожайных годов, а также сезонов с нулевой урожайностью. После 2006 года продуктивность кустарничка падает, что связано с активным ростом подроста, несмотря на неизменную полноту насаждения. Ежегодная урожайность была усреднена за 5 лет и отмечена на графике сплошной линией (рис. 2.10).

Таблица 2.10 - Характеристика экспериментального участка в заповеднике «Брянский лес»

Формула	10С+Б	9С1Б
Диаметр		
Высота		
Возраст		
Бонитет		
ТЛУ	А3	А3
Полнота		
Подрост		6Д4Б
Высота		
Возраст		
Кол-во		

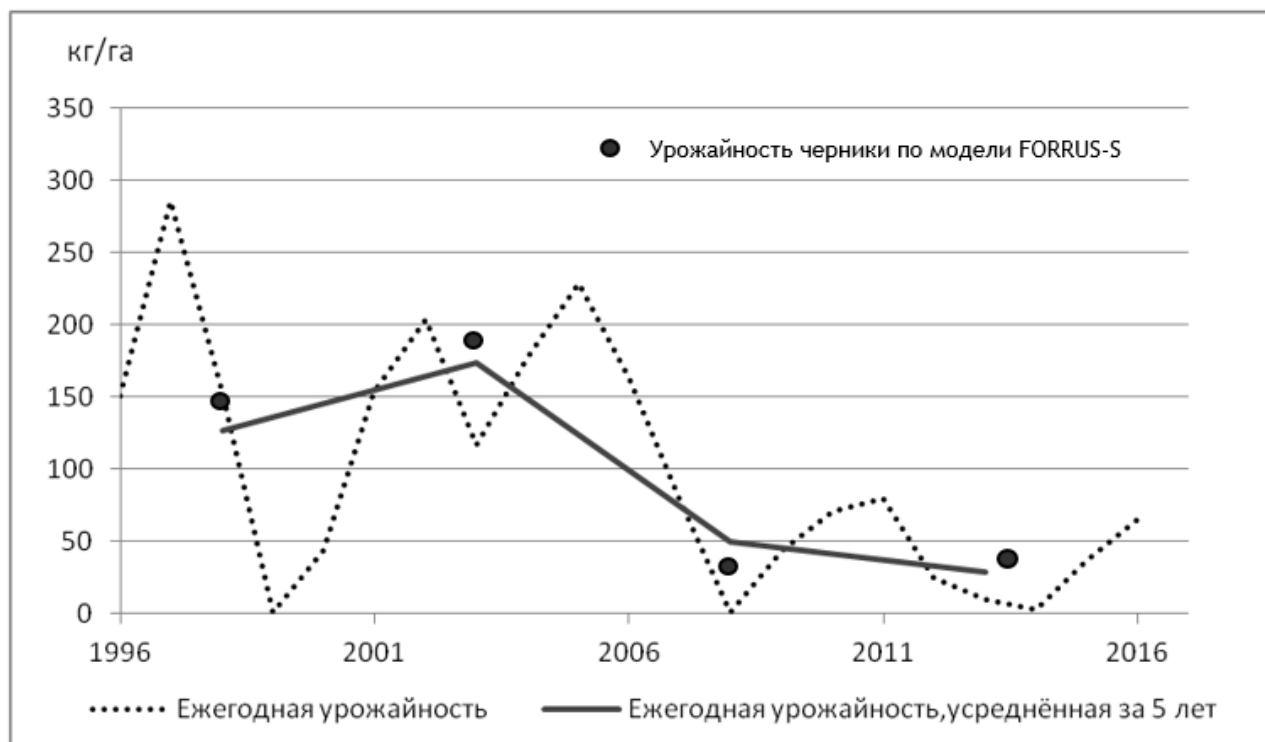


Рисунок 2.9 – Проверка работы модели для черники

Для расчета погрешности, данные из исходного таксационного описания участка были загружены в модель FORRUS-S. Произведен необходимый алгоритм вычисления. В результате чего получены показатели продуктивности черники с шагом 5 лет, на графике обозначены точками. Полученная модельная урожайность имеет сходные тренды с данными из заповедника.

Также были сравнены результаты моделирования и натурные данные, коэффициент детерминации $R^2 = 0,98$, который характеризует случайные отклонения, и коэффициент наклона аппроксимирующей прямой 0,91, характеризующий систематические отклонения (рис. 2.10).

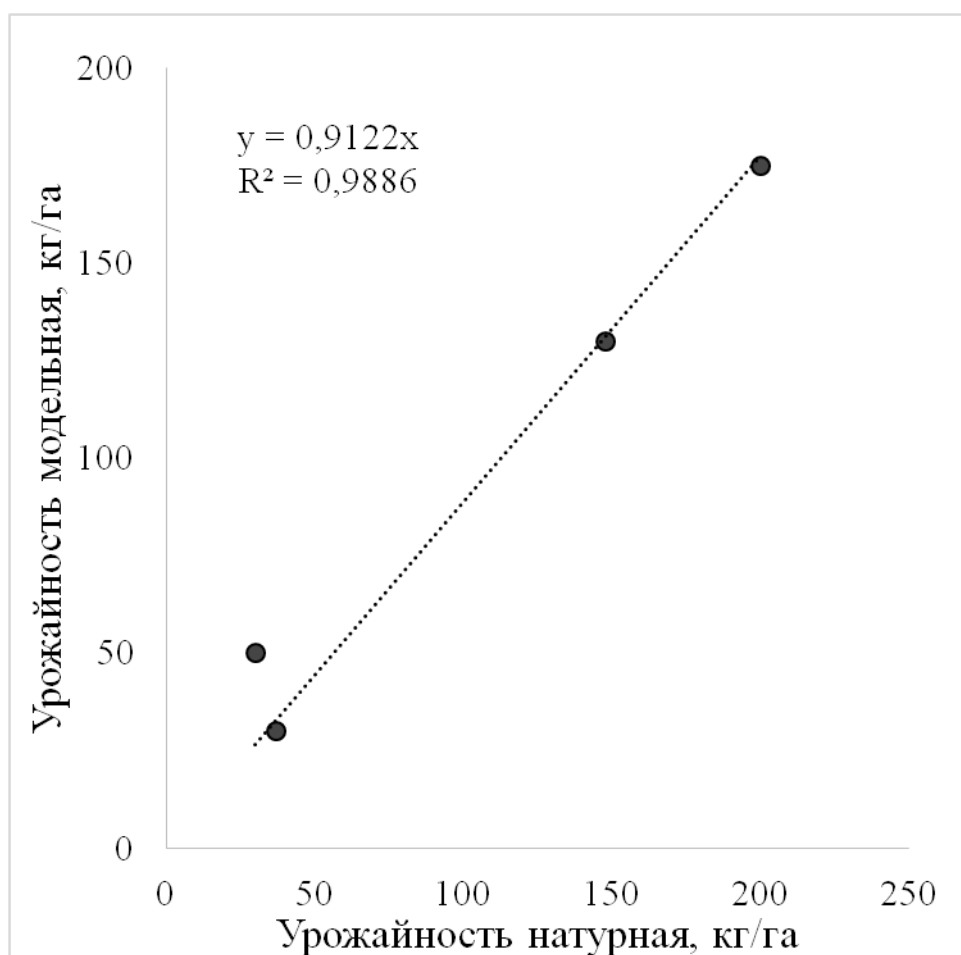


Рисунок 2.10 – Сравнение натурной и модельной урожайности для черники

В ходе сравнения результатов, полученных с использованием модели и натуральных многолетних описаний урожайности кустарничков, была 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%.

Таким образом, результаты прогноза являются довольно точными, что позволяет применять модель для расчета продуктивности ягодников. Также на экспериментальном участке заповедника «Брянский лес» подтверждено прямое влияние подроста на урожайность черничников и некорректность учета только полноты древостоя для оценки продуктивности ягодников.

Заключение по главе 2

Разработан дополнительный блок «Пищевые ресурсы» модели FORRUS-S. Его работа основана на расчете урожайности черники, брусники, малины с учетом лимитирующего фактора продуктивности ягодников – освещенности на уровне напочвенного покрова. Выведены универсальные закономерности для различных лесных насаждений, позволяющие рассчитывать продуктивность ягодников. Подход позволяет работать с наиболее распространенными на территории европейской части России – многовидовыми лесными насаждениями разного возраста с наличием подроста и подлеска.

По результатам верификации на объекте Приокско-Террасный заповедник и «Брянский лес» выявлена некорректность учета только полноты при расчете урожайности и необходимость учета подроста и подлеска, например, через освещенность с использованием модели FORRUS-S. Вычислена погрешность работы модели при прогнозе продуктивности лесных ягодников, по заповеднику «Брянский лес» для черники 17% и по Приокско-Террасному заповеднику для брусники 19%.

Глава 3 РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СЦЕНАРИЯХ

3.1. Сценарии имитационного моделирования

Моделирование урожайности ягодников проводится с учетом динамики характеристик лесных насаждений. Для выявления влияния различных типов рубок на продуктивность ягодников были выбраны различные лесохозяйственные режимы, которые далее будут упоминаться как сценарии.

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), подробнее сценарии описаны в разделе 3.3.

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.

Для удобного ориентирования в тексте работы подробные характеристики каждой группы сценариев приведены в соответствующих разделах (3.2.1, 3.3.1, 4).

3.2. Прогноз урожайности ягодников при простых сценариях моделирования

3.2.1. Параметры простых сценариев

Сценарии для моделирования были разработаны на основе методики, предложенной в рамках проекта INTEGRAL (Borges et al., 2014). Она подразумевает разработку сначала политических сценариев, которые представляют собой описание возможных альтернативных вариантов социально-экономической, политической, экологической ситуации на территории исследования; затем соответствующих каждому политическому сценарию лесоводственных режимов, параметры которых являются входными данными для модели. Подробное описание сценарных подходов представлено в Отчетах НИР по теме «Поддержка принятия решений по экосистемным услугам лесов Европы – определение ценности, синергетические эффекты и компромиссы» (Отчет..., 2019 а, 2020 б). Целью создания простых сценариев (СП) (табл. 3.1) является наиболее полное выявление влияния рубок на продуктивность ягодников.

Таблица 3.1 - Упрощенные экспериментальные лесохозяйственные сценарии

Моделируемые лесохозяйственные мероприятия	Лесохозяйственные сценарии			
	Естественное развитие СП_ЕР Объекты Данки/ Маньга/ Серая лошадь	Сплошные рубки СП_СР Объект Данки	Выборочные рубки СП_ВР Объекты Данки/Маньга/ Серая лошадь	Сплошные и выборочные рубки СП_СР+ВР Объекты Маньга/ Серая лошадь
Рубки спелых и перестойных лесных насаждений	Не проводятся	Сплошные рубки на всей территории объекта	Выборочные рубки на всей территории объекта	Сплошные рубки в эксплуатационных лесах и выборочные в защитных

Моделируемые лесохозяйственные мероприятия	Лесохозяйственные сценарии			
	Естественное развитие СП_ЕР Объекты Данки/ Маньга/ Серая лошадь	Сплошные рубки СП_СР Объект Данки	Выборочные рубки СП_ВР Объекты Данки/Маньга/ Серая лошадь	Сплошные и выборочные рубки СП_СР+ВР Объекты Маньга/ Серая лошадь
Лесовосстановление	Естественное	Лесные культуры сосны и ели на 100% вырубок, агроуход, подготовка почвы	Естественное	Лесные культуры сосны и ели на 100% вырубок, агроуход, подготовка почвы
Рубки ухода	Не проводятся	В соответствии с действующим законодательством: осветление, прочистка, прореживание, проходная рубка		
Уборка порубочных остатков, валежа и сухостоя	Не проводится	Проводится		

Для объекта Данки Московской области было выделено два политических сценария, первый из которых основан на тенденции сокращения покрытой лесом площади в регионе исследования, второй – на увеличении ценности выполнения лесом средообразующих, защитных, санитарно-гигиенических и других функций (Тебенькова и др., 2018, 2022). К каждому политическому сценарию были подобраны лесохозяйственные режимы: проведение сплошных рубок (сценарий носит исключительно модельно-экспериментальный характер и используется для выявления общих закономерностей откликов урожайности ягодников на такой тип ведения хозяйства, так как по целевому назначению леса на территории объекта являются защитными) и проведение выборочных рубок на всей территории лесничества соответственно (Колычева, Тебенькова, 2021). Для объекта Маньга республики Карелия также выделено два политических сценария, основанных на: 1) необходимости обеспечения древесным сырьем лесоперерабатывающих предприятий региона; 2) тренде перехода лесного хозяйства на многоцелевое использование лесов, включающего получение выгод от экосистемных услуг, не

связанных с заготовкой древесины. Для каждого объекта в качестве контроля был промоделирован сценарий естественного развития лесных насаждений, исключаящую любую лесохозяйственную деятельность. Параметры лесохозяйственных режимов представлены в таблице 3.1. Проведение рубок происходит ежегодно и непрерывно, на территорию рассчитывается допустимая расчетная лесосека за один год, а затем за шаг моделирования (5 лет). Назначение выделов в рубку происходит на основе действующих правил ухода за лесом и заготовки древесины на спелых и перестойных лесных участках (Приказ Министерства..., 2020 а, 2020 б).

3.2.2. Урожайность ягодников при естественном развитии лесных насаждений

Сценарий естественного развития предназначен для выявления природных закономерностей развития древостоя и оценки урожайности ягодников в естественных условиях произрастания. В результате моделирования определено соотношение долей ягодников на территории объектов моделирования. Преобладающим ресурсом объекта Данки является черника, которая занимает 86% площади ягодных массивов, эпизодично встречается малина – 9%, в единичных выделах произрастает брусника (рис. 3.1а). Такое распределение связано с природными характеристиками объекта: средневозрастные высокополнотные насаждения наиболее благоприятны для черничников, при этом для произрастания малины необходимы богатые почвы, но густой полог не дает проникнуть достаточному количеству света, необходимого для ее производственной продуктивности (Белоногова, 1973; Белоногова, Румянцева, 1985; Телишевский, 1986; Черкасов и др., 1988; Лузан, 2015).

Леса объекта Маньга также имеют в своем составе большую долю средневозрастных высокополнотных насаждений, поэтому доминирующим ягодным кустарничком является черника – 77% (Колычева, 2020). Объект имеет явные отличия от предыдущего, так как водосбор р. Маньга расположен в подзоне средней тайги, что предполагает более разреженную структуру древостоя, вследствие чего доля площадей участков с более требовательными к свету

брусникой и малиной больше, чем на объекте Данки (рис. 3.1б) (Биоресурсный потенциал..., 2005; Петров, 2019).

На территории объекта Серая лошадь Нижегородской области 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% (рис. 3.1в).

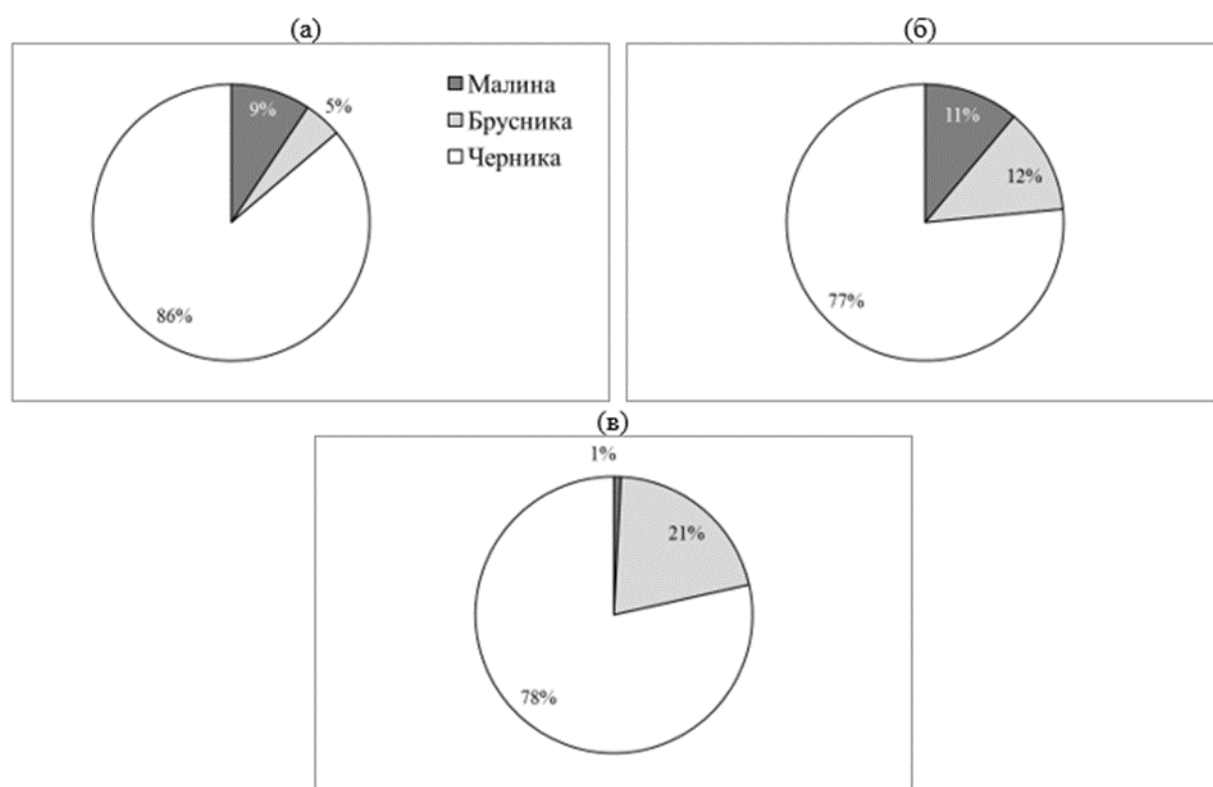


Рисунок 3.1 - Распределение долей ягодников из площадей ягодных массивов на объектах Данки (а), Маньга (б) Серая лошадь (в) в начальном состоянии

В результате моделирования естественной динамики насаждения получены оценки потенциальной урожайности ягодоносных выделов на 100 лет (учитываются только выдела, имеющие производственную продуктивность – более 50 кг/га) (рис. 3.2а, б, в). Усредненными таксационными показателями объекта Данки является насаждение состава 6Б2Е1С1ОС+Д+ЛП, среднего возраста 53 года, полноты 0,73 с ТЛУ С3–С2. Исходя из общей характеристики объекта, можно сравнить полученную продуктивность с урожайностью, предполагаемой для

подобных условий по справочнику (Курлович, Косицын, 2018). В результате модельного прогноза на объекте Данки средняя урожайность черники за весь период моделирования варьирует от 45 до 63 кг/га, такие показатели являются заниженными, по сравнению с табличными результатами для схожих условий – 120 кг/га. Это можно объяснить слишком большой густотой насаждения, при которой невозможно достижение максимальной урожайности (Залесов, Панин, 2017).

За весь период моделирования продуктивность малины варьирует от 22 до 98 кг/га. В начальный период моделирования полукустарник имеет показатели урожайности довольно близкие к табличным, но не достигающие максимума для данных условий – 110 кг/га. Через 45 лет продуктивность начинает снижаться, что связано с недостатком света. В насаждении при естественном развитии происходит постепенная смена преобладающих пород, береза сменяется елью, что создает более затененные условия под пологом. При этом большая доля насаждения изначально имеет густой подлесок, состоящий из лещины, создавая освещенность на уровне напочвенного покрова не более 10% (Колычева и др., 2021).

По справочным данным урожайность брусники в аналогичных усредненным таксационным показателям условиях составляет в среднем 32 кг/га. Модельные оценки урожайности более высокие и варьируют от 40 до 60 кг/га. Таким образом, бруснику нельзя анализировать по усредненным таксационным показателям объекта, так как она занимает ТЛУ А2, в которых достигает максимальные урожаи. По усредненным таксационным показателям объект Маньга представлен насаждением состава 5Б3Е2С+ОС, в возрасте 61 год, полноты 0,69, с преобладающими ТЛУ В3 и С3. Наиболее высокой урожайности достигает черника, в среднем 92–103 кг/га, что очень близко к табличным значениям для этих условий 80–105 кг/га. Стабильно высокие урожаи черники наблюдаются на протяжении всего цикла моделирования, так как условия для ее произрастания максимально благоприятные.

Урожайность брусники ниже, но стабильнее – 35–45 кг/га, при этом по Таксационному справочнику (Курлович, Косицын, 2018) урожайность в сходных условиях – 44 кг/га. Близость значений подтверждает, что усредненные

таксационные показатели объекта описывают большинство площадей брусничников на водосборе р. Маньга.

В справочниках нет данных по учету производственной продуктивности малины для условий объекта. Рассчитанная в результате моделирования продуктивность малины невысока, колеблется в пределах от 23 до 60 кг/га, так как под затененным пологом ягода не дает производственных урожаев, и плодоносит только на открытых участках и опушках.

Объект Серая лошадь состава 5СЗБ1ОС1Е+Д+ЛП, 58 лет, полнотой 0,68, с преобладающими ТЛУ В2 и В3. Средняя модельная урожайность черники на объекте 62 кг/га. Урожайность черники в аналогичных условиях по справочнику 100–140 кг/га, что говорит о неблагоприятных условиях для ягодника. Урожайность брусники в процессе прогноза составляет в среднем 40 кг/га. По справочнику урожайность брусники 60 кг/га, следовательно, условия для ее плодоношения на большей части участка ниже оптимальных. Данных об урожайности малины в таких условиях не представлено, модельный прогноз также показывает отсутствие ягодников для промышленной заготовки.

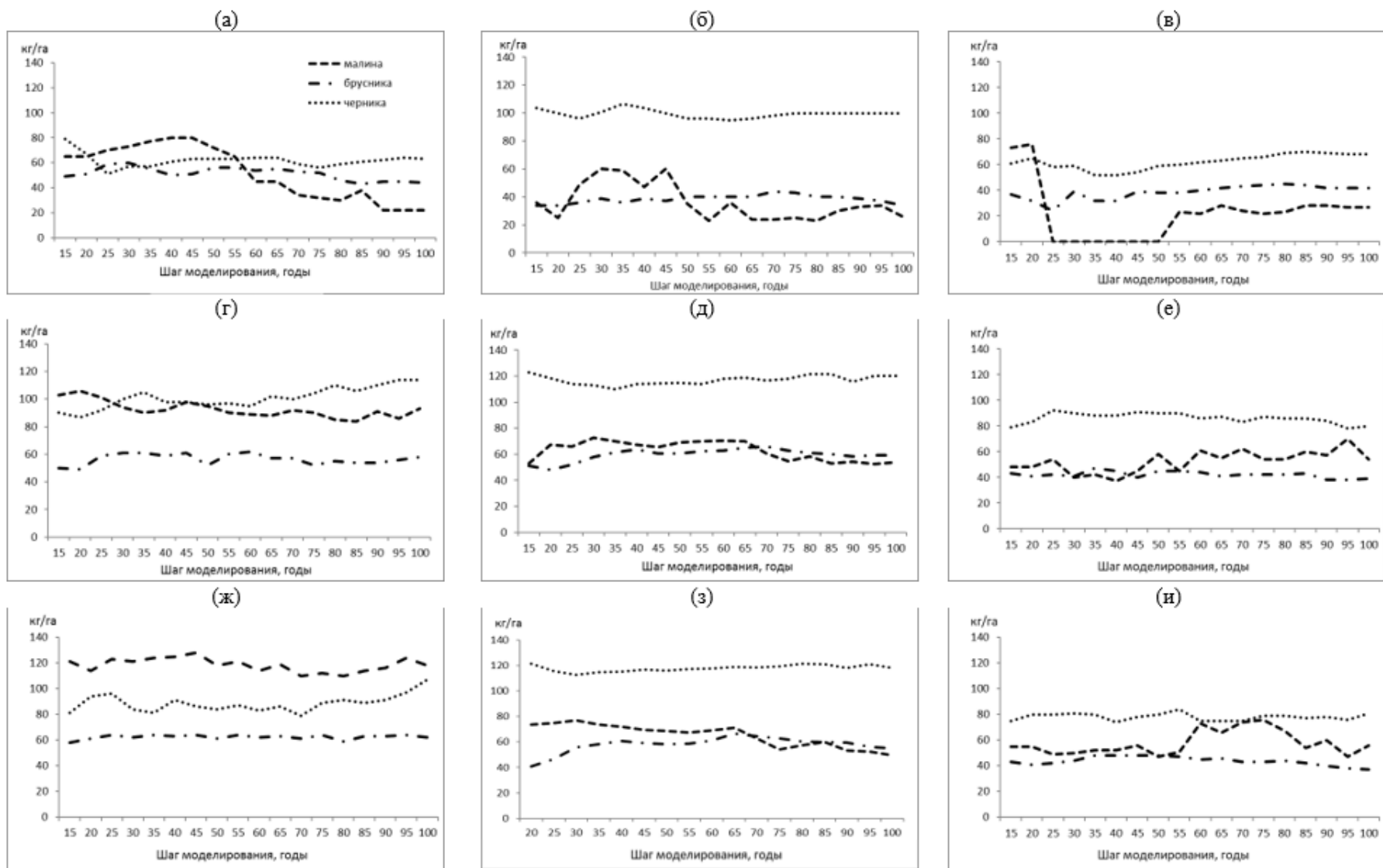


Рисунок 3.2 - Продуктивность ягодников при естественном развитии древостоя на объекте Данки (а), Маньга (б), Серая лошадь (в); при выборочных рубках на объекте Данки (г), Маньга (д) Серая лошадь (е); при сплошных рубках на объекте Данки (ж); сплошных и выборочных рубках на объекте Маньга (з) Серая лошадь (и)

3.2.3. Прогноз урожайности ягодников при проведении рубок

По результатам моделирования, при разных сценариях ведения хозяйства на объекте Данки динамика продуктивности ягодников значительно различается (рис. 3.2в). При проведении выборочных рубок возрастает урожайность черники и малины, на продуктивность брусники они практически не влияют, так как площади, занимаемые ягодником, небольшие и в меньшем количестве попадают в рубку. Урожайность малины стабилизируется и по сравнению с естественным развитием показывает высокую продуктивность, которая варьирует в пределах 85–108 кг/га в течение всего периода моделирования. Повышение продуктивности полукустарника объясняется появлением открытых участков после рубок, так как основная масса растений выходит из неплодоносящего состояния, в котором они находились из-за недостатка света. Черника при выборочных рубках достигает максимально возможной для имеющихся природных условий урожайности от 90 до 118 кг/га, так как полнота древостоя от 0,6 до 0,8, которая достигается выборочными рубками, создает благоприятные условия для плодоношения кустарничков (Обыденников, 2002, 2007; Малиновских, 2016).

Сплошные рубки оказывают наибольшее влияние на светлюбивые виды: малину и бруснику (рис. 3.2г). Ягодники повышают продуктивность при сплошных рубках из-за появления хорошо освещенных мест. Брусника не достигает максимальной урожайности, поскольку в данном ТЛУ и в целом в зоне хвойно-широколиственных лесов этот кустарничек не дает высоких урожаев ягод. Малина при проведении сплошных рубок достигает максимальной урожайности. Богатые почвы ТЛУ С3 и наличие открытых участков способствуют высокой урожайности малины от 110 до 128 кг/га.

Средняя урожайность черники в сценарии со сплошными рубками превышает показатели естественного развития и держится в пределах от 79 до 100 кг/га, не достигая максимумов, как и при выборочных рубках. На участках, пройденных рубками, сначала повышается продуктивность, а затем кустарнички угнетаются и полностью деградируют, при этом на новых участках происходит

рубка, создающая оптимальную для плодоношения освещенность, но через некоторое время более конкурентные виды вытесняют чернику.

На территории объекта Маньга в результате выборочных рубок возрастает урожайность всех ягодников, по сравнению с естественным развитием (рис. 3.2д). При естественном развитии на объекте произрастают высокоурожайные черничники, а выборочные рубки дополнительно увеличивают освещенность, в результате чего продуктивность ягодника становится максимальной и достигает 110–123 кг/га. Урожайность брусники также возрастает в связи с поступлением большего количества света и колеблется в пределах от 48 до 66 кг/га. Выборочные рубки способствуют увеличению производительности малинников по сравнению с естественным развитием, стабилизируя урожаи на уровне от 51 до 73 кг/га.

Схожее влияние на продуктивность ягодников оказывает и комплекс сплошных и выборочных рубок (рис. 3.2е). Урожайность черники находится на стабильно высоком уровне. Следовательно, местоположение и начальные природные характеристики объекта соответствуют требованиям произрастания, а рубками можно поддерживать более высокий уровень урожайности черники. Стабильной урожайности от 40 до 65 кг/га достигает брусника, что значительно выше показателей, характерных для сценария естественного развития, но немного ниже значений при выборочных рубках, так как, в целом, условия произрастания объекта благоприятны для брусники. Сочетание сплошных и выборочных рубок в комплексе с благоприятными природными условиями позволяет получить наибольшие для объекта урожаи малины, в диапазоне от 54 до 77 кг/га, что является достаточно высоким показателем, так как в условиях данного объекта урожаи малины невысоки.

На объекте Серая лошадь выборочные рубки также увеличивают продуктивность черники до 90 кг/га и малины до 70 кг/га, но повышение не достигает таких высоких показателей как на объектах Данки и Маньга из-за исходно низкопродуктивных условий на объекте (преобладание ТЛУ В2). Для брусники на этом объекте рубки малоэффективны и не отражаются на урожайности. Продуктивность малины по сравнению с естественным развитием

держится стабильно на уровне 50–60 кг/га, тем не менее в этих условиях урожайность ее не высока.

Комплекс сплошных и выборочных рубок на объекте Серая лошадь также оказывает влияние на чернику и малину, при этом наблюдается увеличение продуктивности по сравнению с выборочными рубками черники до 80 кг/га в сравнении с выборочными рубками, но урожайность малины достигает наивысших показателей в этом сценарии – 76 кг/га.

3.2.4. Сравнительная оценка урожайности ягодников в хвойно-широколиственных лесах и лесах средней тайги

Производственный потенциал объектов значительно различается. При естественном развитии в среднем площадь ягодных массивов объекта Данки занимает примерно 10% от общей площади, на объекте Маньга площадь ягодных массивов значительно больше – в среднем 50% всей территории. На начальных этапах моделирования в зоне хвойно-широколиственных лесов наибольшей урожайностью обладает малина. В таежной зоне изначально преобладающим кустарничком является черника, что обусловлено преобладающими ТЛУ, которые определяют условия роста и развития леса (Козубов, 2000; Ханина, 2019). Далее в процессе развития древостоя объекта Данки происходит загущение подлеска, вследствие чего травяно-кустарничковый ярус занимает теневыносливая черника, на объекте Маньга наоборот, полог более разреженный, густого подлеска нет, поэтому помимо теневыносливой черники, эпизодически встречается светолюбивые брусника и малина.

На проведение выборочных рубок оба объекта в целом реагируют повышением урожайности всех ягодников, при этом возрастает и площадь ягодных массивов: в Данках до 13% от всей территории, на Маньге до 53%. Преобладающим кустарничком на всем протяжении моделирования на объекте Данки становится черника благодаря проникновению света под полог. Также малина повышает урожайность по сравнению с естественным развитием. На объекте Маньга более высокие урожаи также наблюдаются у преобладающей во всех сценариях черники.

При этом, если сравнить уровни продуктивности по объектам, то наиболее продуктивна черника на объекте Маньга, ее урожайность превышает показатели объекта Данки на 20 кг/га. Малина, наоборот, на объекте Данки превосходит урожайность объекта Маньга, в среднем на 25 кг/га. Брусника на обоих объектах обладает сходной продуктивностью при разной площади ягодных массивов. На объекте Данки брусничники занимают всего несколько выделов, а на Маньге 15–20% площади всего объекта – это участки с промышленной продуктивностью брусники.

Сплошные рубки оказывают противоположное влияние. На объекте Данки площадь ягодных массивов увеличивается до 16%, а на объекте Маньга, наоборот, падает до 39% от площади объекта, происходит конфликт услуг. Увеличение площади ягодников объекта Данки происходит за счет увеличения открытых участков, так как изначально полог не загущается как при естественном развитии и ягодникам хватает освещенности для производственной продуктивности. На объекте Маньга изначально полог более разрежен, и при проведении рубок угнетаются ягодные массивы черничников, предпочитающих участки со средней освещенностью. При сравнении продуктивности ягодников на объектах обнаруживается, что при сплошных рубках на обоих объектах увеличивается урожайность малины, но в Данках ее продуктивность достигает более 40 кг/га, значит условия для нее близки к оптимальным. Черника, также как и в других сценариях, более продуктивна на объекте Маньга, в среднем, на 20 кг/га. Ситуация в брусничниках аналогична выборочным рубкам.

В целом наиболее сильно лесохозяйственные мероприятия воздействуют на урожайность ягодников объекта Данки. Здесь урожайность ягодников при рубках возрастает сильнее по сравнению с объектом Маньга. Это связано с начальными характеристиками участков. Данки на 10% площади имеет ягодные массивы, Маньга – на 50%. На объекте Данки ягодники угнетены, так как в условиях хвойно-широколиственных лесов произрастают более конкурентные виды, а также имеется мощный подлесок, перекрывающий поступление света на уровень напочвенного покрова. Рубки способствуют поступлению света и, как следствие, повышают

продуктивность ягодников. На объекте Маньга изначально благоприятные условия для плодоношения, поэтому влияние рубок на продуктивность ягодников менее заметно.

3.2.5. Синергия и конфликты между обеспечением древесиной и ягодами в зоне хвойно-широколиственных лесов и средней тайге

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).

Методом регрессионного анализа рассчитаны зависимости между рассматриваемыми характеристиками, при этом ежегодные объемы заготовки разделены по хозяйствам с преобладанием хвойных и лиственных пород (табл. 3.2). В таблице 3.2 представлены уравнения и коэффициенты детерминации R^2 , значения X представлены двумя показателями – это объем пользования хвойным X_1 и лиственным X_2 хозяйством.

Выявлены сценарии, в которых проявляется зависимость урожайности ягодников от объемов заготовки. 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.

Таблица 3.2 – Регрессионные зависимости урожайности ягодников от среднегодовых объемов заготовки древесины

Сценарий	Целевое назначение	Черника	Брусника	Малина
Объект Данки				
Выборочные рубки	защитные	ВН	ВН	$R^2 = 0,379$ $Y = 7,24 - 0,783 \times X_1 + 0,67 \times X_2$
Сплошные рубки	защитные	$R^2 = 0,545$ $Y = 12,4 - 0,42 \times X_1 + 0,06 \times X_2$	ВН	$R^2 = 0,678$ $Y = 7,2 - 0,28 \times X_1 + 0,06 \times X_2$
Объект Маньга				
Выборочные рубки	защитные	ВН	ВН	ВН
	эксплуатационные	ВН	$R^2 = 0,633$ $Y = -34,34 + 6,8 \times X_1 + 4,5 \times X_2$	ВН
Выборочные и сплошные рубки	защитные	$R^2 = 0,472$ $Y = -16,78 + 10,59 \times X_1 + 5,49 \times X_2$	ВН	$R^2 = 0,375$ $Y = 50,8 - 10,56 \times X_1 - 4 \times X_2$
	эксплуатационные	ВН	$R^2 = 0,490$ $Y = 5,8 + 0,9 \times X_1 + 0,19 \times X_2$	ВН

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

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

ВН – Влияние не выявлено

На объекте Маньга есть защитные и эксплуатационные земли, поэтому было принято решение рассматривать регрессию в них отдельно из-за принципиально разных способов ведения хозяйства. Так при сценарии с выборочными рубками в эксплуатационных зонах наблюдается заметное влияние объемов рубок на урожайность брусники. В сценарии комплекса сплошные и выборочные рубки на эксплуатационных землях также наблюдается умеренное влияние объема заготовки древесины на продуктивность брусники. На защитных землях с проведением выборочных рубок умеренное влияние зафиксировано с продуктивностью брусники и черники, при этом знаки коэффициентов X противоположны. Таким образом, для урожая черники наблюдается

положительный эффект, а для малины отрицательный. Не во всех сценариях проявляется влияние ежегодных объемов заготовки древесины на продуктивность ягодников (R^2 имеет низкие значения), так как было рассмотрено влияние не всего комплекса факторов, влияющих на урожайность (ТЛУ, возраст и т.д.). При этом, высоких отрицательных воздействий не обнаружено. Таким образом, эти два вида использования лесов могут быть совмещены на одном участке.

На объекте Данки (рис. 3.3а) при ведении заготовок исключительно выборочными рубками урожайность черники держится на стабильно высоком уровне $18\text{--}21 \text{ кг} \times \text{га}^{-1} \times \text{год}^{-1}$, что говорит об отсутствии конфликтов с выбранным типом ведения хозяйства. Брусника повышает урожай при снижении объемов заготовки после 70-ти лет моделирования. Малина снижает урожай, так как при выборочных рубках не образуется достаточного количества открытых участков для её производственной продуктивности.

При сплошных рубках (рис. 3.3б) ежегодные значения продуктивности ягодников на всю территорию значительно ниже, чем в предыдущем сценарии. Повышающиеся объемы лесозаготовок на 50–55 году моделирования оказывают отрицательное воздействие на урожайи ягодников из-за сокращения площади ягодных массивов, а понижение, наоборот, восстанавливает высокие урожайи, что свидетельствует о сложности совмещения двух видов пользования, поскольку между экосистемными услугами наблюдается конфликт.

На объекте Маньга выборочные рубки с увеличением объемов заготовки повышают урожайи ягод (рис. 3.3в, г) и в защитных, и в эксплуатационных зонах. Наблюдается синхронное повышение ежегодной продуктивности черники, что свидетельствует о синергии показателей, но после увеличения объема лесопользования на 60-м году моделирования снижается урожайность черники, наступает конфликт услуг. Положительно влияет заготовка древесины на ежегодную продуктивность малины и брусники в лесах на эксплуатационных землях.

В сценарии с комплексом сплошных и выборочных рубок на объекте Маньга в зоне защитных лесов, где проводятся выборочные рубки (рис. 3.3д), при

повышении ежегодного объема заготовки древесины урожайность ягодников не понижается, конфликтов не выявлено. В зонах эксплуатационных лесов после снижения объема пользования за счет рубок ухода на 65–80 году моделирования наблюдается снижение урожайности брусники и малины.

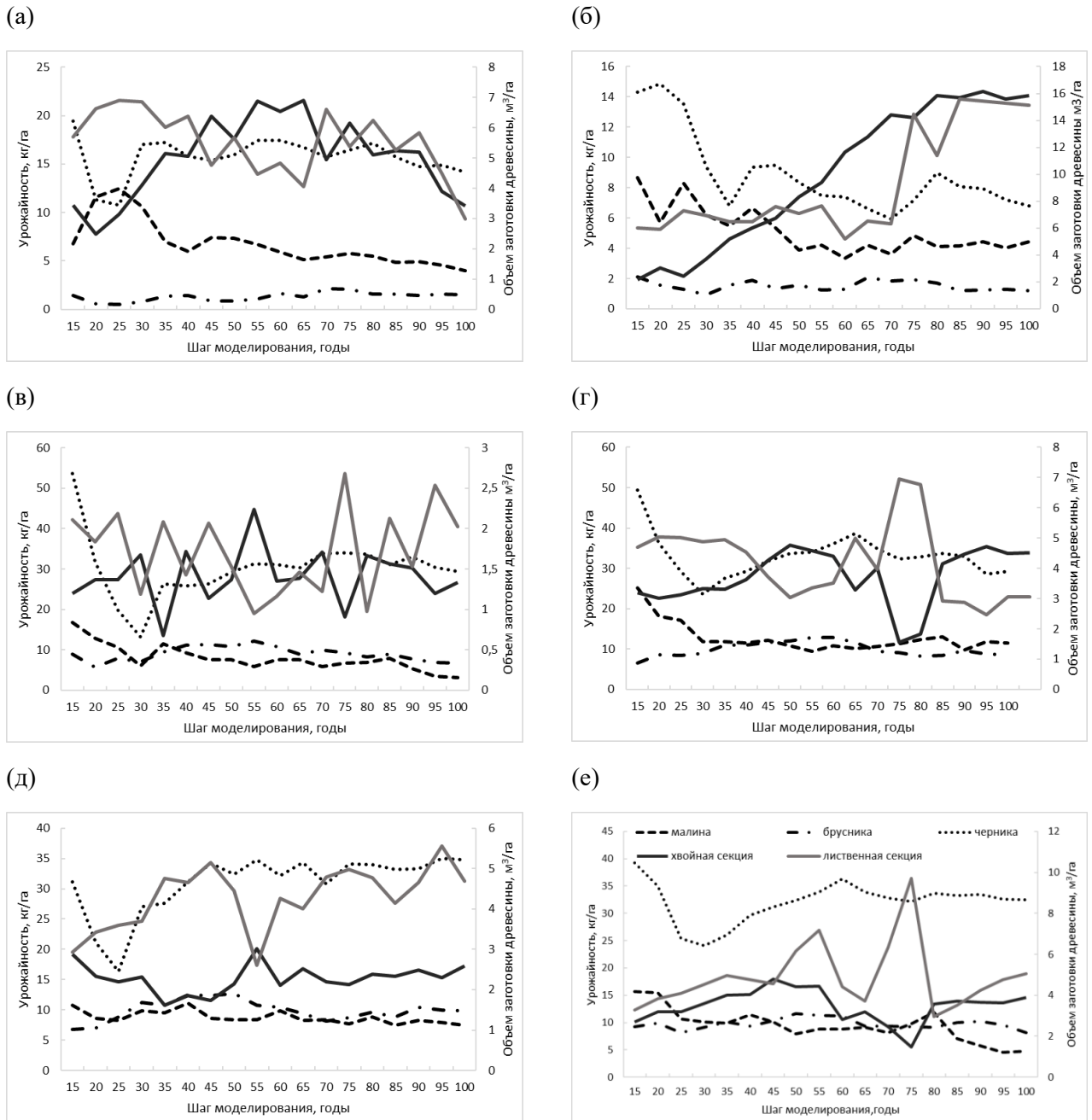


Рисунок 3.3 – Динамика заготовки древесины и урожайности ягодников на объекте Данки при выборочных (а) и сплошных (б) рубках; на объекте Маньга при выборочных рубках на защитных (в) и эксплуатационных (г) участках, при комплексе сплошных и выборочных рубок на защитных (д) и эксплуатационных (е) участках

По выявленным трендам на графиках установлены предельные объемы ежегодной заготовки древесины, рассчитанные на всю площадь объекта Данки 6–

8 м³ га⁻¹ год⁻¹, и на защитных и эксплуатационных зонах объекта Маньга 4–6 м³ га⁻¹ год⁻¹, при которых не снижается ежегодная продуктивность ягодников.

3.3. Влияние климата на продуктивность лесных ягодников

При долгосрочном прогнозе на 100-летний период необходимо учитывать изменение климата, так как этот фактор напрямую влияет на урожайность лесных ягодников. Для анализа влияния климатических изменений было выбрано несколько сценариев. Сценарий «Естественное развитие» выбран как эталонный. Он позволяет проследить, как изменяется биологическое состояние древостоя, а также ягодников при отсутствии хозяйственных мероприятий и изменения климата. Вместе с естественным развитием древостоя, модель может просчитывать сценарии с различными типами развития древостоев, а также с учетом различных хозяйственных мероприятий (рубки, посадка лесных культур, уборка захламленности). Для выявления антропогенного воздействия рассматривается сценарий «Рубки», который для каждого объекта изменяется в зависимости от назначения земель – защитные или эксплуатационные. На участках защитных земель проводятся только выборочные рубки, а на эксплуатационных – сплошные рубки и дальнейшие посадки культур в соответствии с текущей ситуацией на объекте.

Лесное хозяйство является климатически зависимой отраслью экономики, в этой связи очевидно, что глобальные изменения климата с неизбежностью воздействуют на данную отрасль. Эти воздействия многообразны и включают модификацию пожарных режимов, изменения продуктивности и характера прохождения сукцессий, расширение ареалов и вспышки массового размножения насекомых-дендрофагов (Мониторинг..., 2004), прочие катастрофические воздействия, такие как усыхания при экстремальных засухах или ветровалах. Из множества возможных типов воздействий в настоящей работе рассмотрено влияние климатических изменений на продуктивность и характер прохождения сукцессий. Детальное изложение подхода приведено в работе Грабовского В.И. и Замолодчикова Д.Г. (2019), здесь ограничимся лишь кратким описанием подхода.

В работе используются три сценария: RCP 4.5 («умеренный»), далее СК_4.5; RCP 6.0 («промежуточный»), далее СК_6.0 и RCP 8.5 («экстремальный»), далее СК_8.5 (Vuuren, 2011). Тенденции для рассматриваемых регионов оказываются схожими: ожидаемое повышение средней годовой температуры за 100 лет составляет 4,2–4,5 °С при сценарии СК_4.5, 4,6–4,8 °С при сценарии СК_6.0 и 6,8–7,1 °С при сценарии СК_8.5. Повышение температуры более значительно в зимние месяцы. Годовые суммы осадков в сценариях за 100 лет повышаются на 75–100 мм (11–15%) в Карелии и на 40–75 мм (6–11%) в остальных рассматриваемых регионах, причем при сценарии СК_6.0 несколько меньше, чем в других. Повышение достигается в основном за счет осадков холодного времени года, тогда как в летние месяцы получены незначительные изменения или даже снижение на 10–20% (Отчет..., 2019).

Было установлено, что рассматриваемые сценарии изменения климата повышают продуктивность насаждений (Шанин и др., 2010; Shanin et al., 2011; Schaphoff et al., 2016; Отчет..., 2019). С использованием модели была спрогнозирована долгосрочная динамика урожая черники, брусники и малины на всех объектах моделирования, графики представлены на рисунке 3.4. При сценарии естественного развития насаждения (СП_ЕР) преобладающим ягодником на всех объектах является черника, стабильные, невысокие урожаи дает брусника, а урожаи малины невысоки, менее 0,4 тонны. Для того, чтобы сопоставить влияние климата с лесохозяйственной деятельностью были взяты сценарии сходные с текущим ведением хозяйства, для объекта Данки – это сценарий выборочных рубок (СП_ВР), для объектов Маньга и Серая Лошадь сценарии с комплексом сплошных и выборочных рубок (СП_СР+ВР), далее в параграфе все эти сценарии названы рубки.

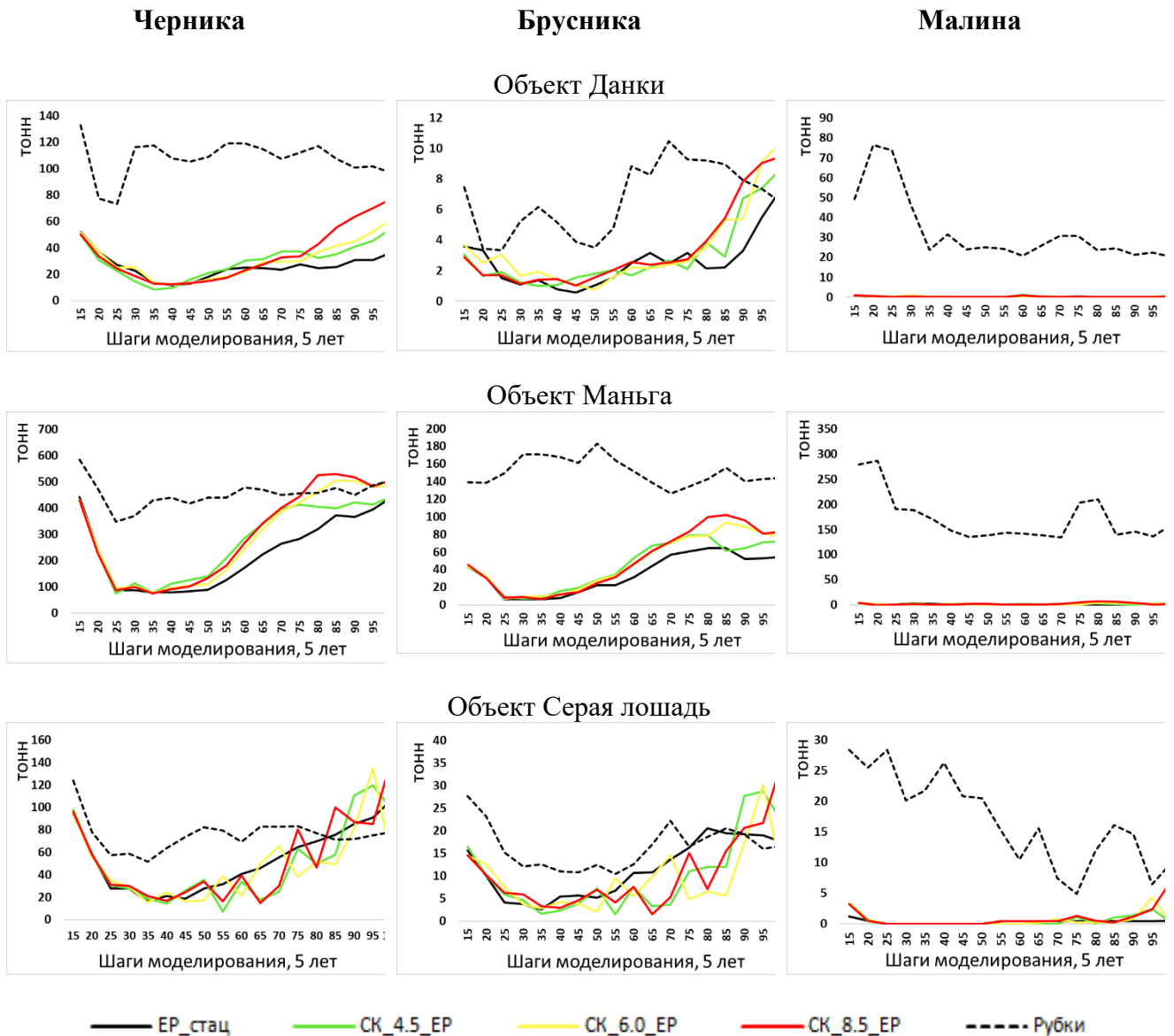


Рисунок 3.4 – Влияние климата на урожай ягод

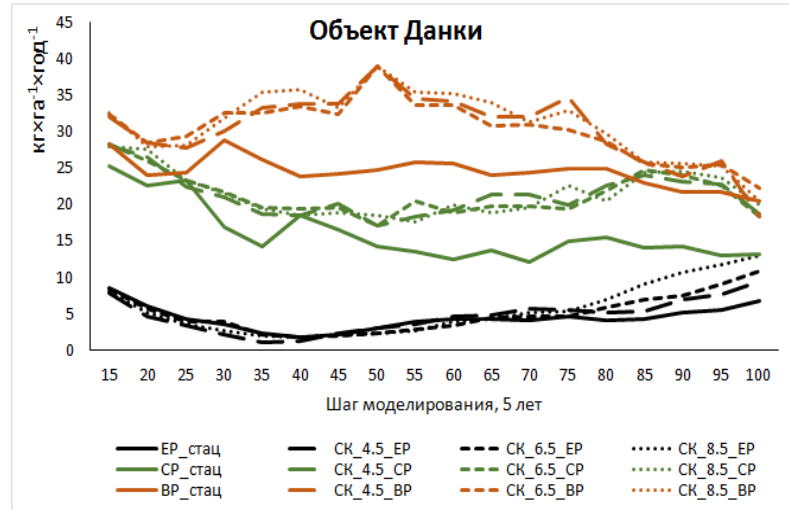
В сценариях с рубками, выявлено повышение урожая лесных ягод, при этом наиболее значительные повышения наблюдаются на объекте Данки, наименьшие на объектах Серая лошадь и Маньга. Различия в отклике ягодников на рубки связаны, во-первых, с изначально различными структурами полога, объект Данки имеет более высокую полноту, а также густой подлесок лещины, а в таежных объектах более разреженный полог с небольшим количеством подлеска; во-вторых, объект Данки состоит полностью из защитных лесов, где возможно проведение только выборочных рубок, а на объекте Серая лошадь и Маньга присутствуют защитные и эксплуатационные земли, на которых проводятся выборочные и сплошные рубки соответственно. Выборочные рубки создают благоприятные

условия для продуктивности черники и брусники за счет снижения полноты древостоя, а сплошные рубки способствуют воспроизводству малины, создавая открытые места, благоприятные для плодоношения малины. Также были рассмотрены сценарии естественного развития с изменением климата, на рисунке климатические сценарии обозначены цветными линиями.

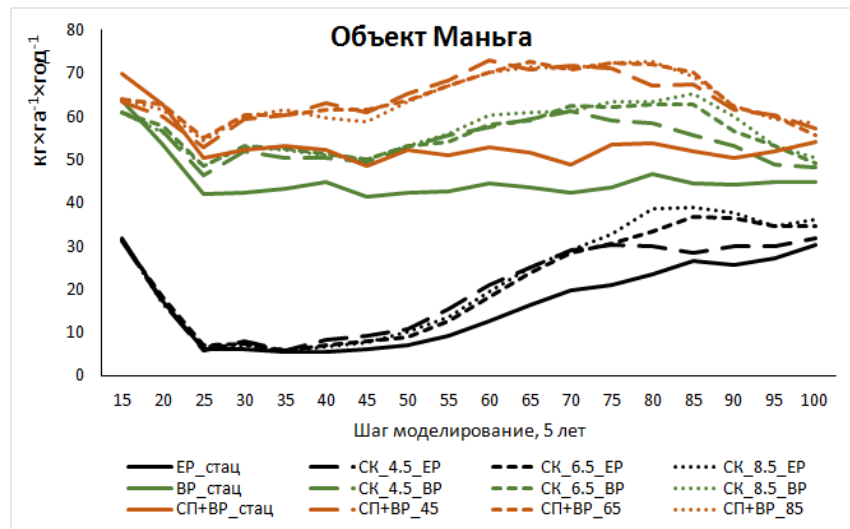
Тренды продуктивности ягод при изменениях климата сходны в пределах объекта для каждого ягодника. Наибольший положительный эффект наблюдается на объекте Маньга бореальной зоны, также наибольшее влияние климата на повышение продуктивности древостоя установлено в бореальных лесах (Schaphoff et al., 2016). 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 (Колычева, Чумаченко, 2022 а).

Была рассмотрена общая продуктивность ягодников с комплексным влиянием изменения климата и лесохозяйственных мероприятий (рис.3.5). Название сценариев комбинированного воздействия с изменением климата и лесохозяйственными мероприятиями включают в себя сокращенное название климатического и лесохозяйственного сценариев, например, СК_6.0_ВР, где учитывается влияние выборочных рубок (ВР) и климата по сценарию RCP 6.0.

а)



б)



в)

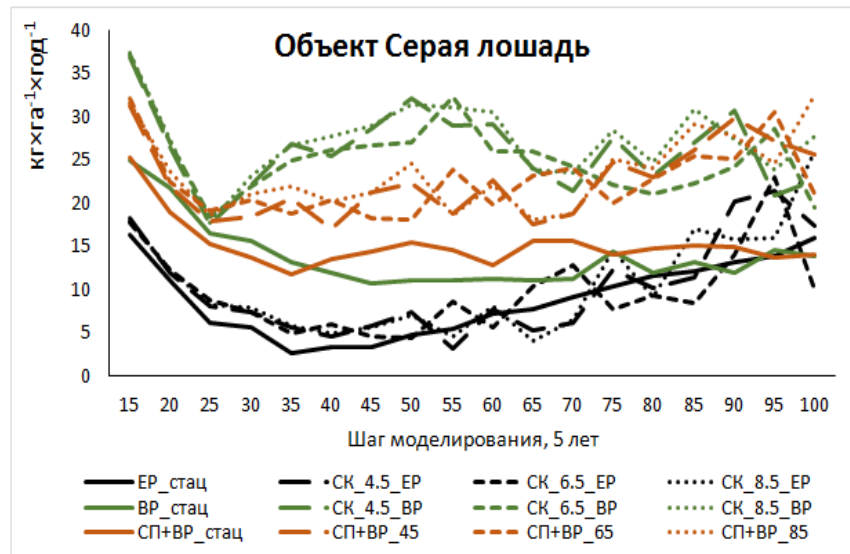


Рисунок 3.5 – Продуктивность ягодников при комплексном влиянии изменения климата и лесохозяйственных мероприятий

Для всех вариантов сценарии с воздействием рубок оказывают большее влияние. Наиболее четко прослеживается разница на объекте Данки, где урожайность повышается от сценария естественного развития со стационарным климатом до естественного развития с изменением климата 8.5. Далее повышение идет за счет воздействия рубок со стационарным климатом и повышается при сплошных рубках с изменением климата, наибольшую продуктивность ягодников можно получить в сценарии с выборочными рубками со стационарным климатом, а изменения климата еще больше повышают урожайность.

На объекте Маньга наблюдаются схожие тренды, но наиболее продуктивным является сценарий комплекса сплошных и выборочных рубок, а наложенное климатическое воздействие увеличивает не только продуктивность насаждения (Отчет..., 2019), но и продуктивность ягодников.

На объекте Серая лошадь наивысшие значения продуктивности также зафиксированы в сценарии с комплексом сплошных и выборочных рубок, а изменение климата оказывает наибольшее влияние на урожайность в сценарии со сплошными рубками.

Заключение по главе 3

В результате выполненных имитационных экспериментов спрогнозирована урожайность ягодников на 100 лет. Проработаны несколько сценариев развития лесных участков. Спрогнозирована урожайность ягодников при упрощенных сценариях ведения лесного хозяйства и с воздействием климата. Наиболее детально воздействие лесохозяйственных мероприятий на урожайность ягодников проанализировано в сценариях выборочных рубок, сплошных рубок, а также для комплекса сплошных и выборочных рубок.

Выявлено, что при выборочных рубках 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.

Наиболее продуктивен объект Маньга: при естественном развитии на 50% его территории расположены ягодные массивы. Здесь высокой продуктивностью обладает черника, при долгосрочном моделировании урожайность варьирует от 92 до 103 кг/га. В зоне хвойно-широколиственных лесов ягодные массивы занимают всего 13% территории, до 50 лет моделирования на объекте 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 подзоны является самым низкопродуктивным из-за преобладания неблагоприятных для производственной продуктивности ягодников ТЛУ В2.

Наиболее благоприятное влияние на продуктивность ягодников оказывают выборочные рубки в Данках. Проведение выборочных и сплошных рубок повышает урожайность ягодников относительно сценария естественного развития лесов. В Маньге рубки не оказывают значительного влияния, как в Данках, так как здесь изначально объект высокопродуктивен. В сценарии с проведением выборочных рубок урожайность ягодников возрастает. Сценарий комплекса сплошные и выборочные рубки оказывают негативное действие в Маньге, снижая площадь ягодных массивов объекта. На объекте Серая лошадь сценарии с выборочными рубками и комплексом сплошных и выборочных рубок наблюдается повышение урожайности черники и малины относительно сценария естественное развитие, но урожайность на объекте остается невысокой.

Анализ влияния климатических сценариев на продуктивность ягодников показал, что с течением времени климат оказывает влияние на продуктивность ягодников, повышая урожайность преимущественно в таежной зоне. Однако влияние рубок превосходит влияние климата в несколько раз.

Глава 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСАЖДЕНИЙ

4.1. Параметры экономических сценариев

Для оценки влияния заготовки древесины на урожайность ягодников выбраны несколько контрастных сценариев ведения лесного хозяйства (табл. 4.1): сценарий СЭ_БК – с 60% освоения расчетной лесосеки, без посадки лесных культур; сценарий СЭ_ЛК_БУ – с 95% освоения расчетной лесосеки, посадкой лесных культур на 50% вырубок, без ухода; сценарий СЭ_ЛК_У – с 95% освоения расчетной лесосеки, посадкой лесных культур на 50% вырубок, с уходом в молодняках и средневозрастных насаждениях (Chumachenko et al., 2020, 2021).

Таблица 4.1 – Параметры сценариев

Параметры ведения хозяйства*	Шифр сценария		
	СЭ_БК	СЭ_ЛК_БУ	СЭ_ЛК_У
Заготовка древесины, % расчетной лесосеки	60%	95%	95%
Лесные культуры, % от площади сплошных рубок	-	50%	50%
Рубки ухода в молодняках	-	-	в соответствии с Правилами ухода (Приказ..., 2020 б)
Рубки ухода в средневозрастных насаждениях	-	-	

Примечание: Сценарии учитывают целевое назначение лесов. В эксплуатационных лесах моделируются сплошные рубки, в защитных лесах – выборочные рубки в тех категориях, где это не запрещено Лесным кодексом.

4.2. Характеристики объекта исследования

Преобладающие породы на территории Паше-Капецкого участкового лесничества – сосна и береза, это деревья с ажурной кроной, создающие благоприятные условия для произрастания кустарничков под пологом леса (табл. 4.2). Около 20% приходится на насаждения с доминированием ели, для которой

характерна густая крона, резко снижающая освещенность и ухудшающая условия произрастания ягодных кустарничков.

Таблица 4.2 – Распределение площади Папше-Капецкого лесничества по древесным породам и типам лесорастительных условий

Порода	Всего	A2	A3	A4	A5	B2	B3	B4	B5	C2	C4	C5
С	8428,9	4156,2	1237,9	1018	1844,2	122	6,6	11,2	9,3	22,5		1
Б	7772	130,6	14,1	69,9	32,9	3281,9	779,6	829,8	699,3	1688,8	150,7	94,4
Е	2747,1	73	26,5	19,9		1660,9	550,4	246,1	19,2	126,9	7,8	16,7
ОЛС	14					9,9				2,7	1,4	
ОС	678	2				63,5	17,5	1,2		572,6	21,2	
Р	140	91,7	16		0,9	20,8	2,2	3,4	5,0			
Всего	19780	4453,5	1294,5	1107,8	1878	5159	1356,3	1091,7	732,8	2413,5	181,1	112,1

Типы лесорастительных условий объекта разнообразны, всего описано 11 типов от свежих боров (А2) до заболоченных сложных суборей (С5) (табл. 4.2). Наиболее распространенные ТЛУ на территории объекта А2 и В2, что говорит о преобладании небогатых и свежих местообитаний (Воробьев, 1953; Ханина, 2019). Эти ТЛУ, как и А3, В3, являются благоприятными для произрастания ягодных кустарничков на европейской части территории России (Дулина, Чумаченко, 2018; Dulina, Chumachenko, 2019). На территории имеются участки с относительно богатыми почвами в условиях сложных суборей (С2), на которых можно прогнозировать хорошие урожаи от сбора малины.

Наиболее предпочтительными местами произрастания для черники являются ТЛУ А3–4, В3–4, С3 с преобладанием сосны, ели или березы, в возрасте более 60 лет, с полнотой 0,6–0,8; для брусники – ТЛУ А2–4, В2–4, с преобладанием сосны, ели или березы, в возрасте более 40 лет, с полнотой 0,3–0,4; для малины – ТЛУ А3, В3, С3 на вырубках сосны, ели или березы до 15 лет (Дулина, Чумаченко, 2018;

Dulina, Chumachenko, 2019). Из этого следует, что в лесах участкового лесничества можно ожидать высокой продуктивности черники.

4.3. Расчет экономического потенциала заготовки лесных ягод

Исходя из начального состояния древостоя и особенностей древесных пород, была спрогнозирована урожайность лесных ягодников. При расчете использовались справочные показатели для близких к Ленинградской области условий южнотаежной подзоны (Курлович, Косицын, 2018).

Расчет урожайности лесных ягодников происходит в модуле «Пищевые ресурсы» модели FORRUS-S. Прогноз урожая осуществляется с использованием разработанных ранее универсальных уравнений, в которых в качестве переменных используются таксационные характеристики древостоя и освещенность, рассчитанная в процессе моделирования (Колычева, Чумаченко, 2021).

Для экономической оценки ягодных ресурсов учитывается промысловый урожай, являющийся частью общего биологического запаса, которую можно изымать без ущерба для дальнейшего воспроизводства ресурса, и составляющий 50%. В расчет были взяты участки, среднемноголетняя урожайность ягодников на которых составляла более 50 кг/га (Методика подбора..., 1986).

Для определения возможности заготовки лесных ягод на конкретной территории необходимо учитывать несколько факторов:

- 1) участки сбора не должны находиться на территории заповедников или иных ООПТ, на которых запрещена такая деятельность или посещение в целом;
- 2) в заготовку отводят выделы площадью более 3 га либо несколько смежных выделов общей площадью более 3 га (Потенциальные запасы..., 2017);
- 3) по методике выявления дикорастущих сырьевых ресурсов при лесоустройстве (1987) доступными считаются выделы в кварталах, находящихся на расстоянии не более 5 км от ближайших дорог, пригодных для транспортировки сырья. Необходимо также учитывать реки, по которым возможна вывозка сырья, а также дороги, которые предполагается построить в ближайшее время для вывозки древесины (Швелев и др., 2011);

4) участки, находящиеся на расстоянии 2 км от населенных пунктов, исключаются из промышленной заготовки, так как эти ресурсы остаются для нужд местного населения (Методика подбора..., 1986).

Перспективными территориями для промышленной заготовки ягод признаются такие, для которых сочетание доступность-урожайность является оптимальным (Грязькин и др., 2020). Таким образом, помимо таксационного описания, для определения экономического потенциала участка необходимо использование картографических материалов: план лесных насаждений, дорожная инфраструктура, расположение населенных пунктов, гидрология.

4.4. Долгосрочный прогноз динамики насаждений модельного лесничества

Динамика насаждений просчитана на 120 лет для трех описанных выше сценариев ведения лесного хозяйства. Сценарий СЭ_бК (60%-ное освоение расчетной лесосеки, естественное возобновление и отсутствие уходов) приводит к постепенной смене хвойных пород лиственными, на местах вырубок восстанавливается преимущественно осина. В выделах, не пройденных рубками, под пологом березы и сосны развивается ель и постепенно сменяет их (рис. 4.1а). В сценарии СЭ_ЛК_бУ (95%-ное использование расчетной лесосеки, без ухода за лесами) смена пород выражена еще резче, т.к. больше площадей попадает в сплошную рубку, созданные на вырубках культуры хвойных пород без ухода погибают и сменяются лиственными молодняками (рис. 4.1б). Сценарий СЭ_ЛК_У благодаря полному циклу ухода за культурами хвойных пород, поддерживает их запасы на постоянном уровне, но и в этом случае не удастся избежать увеличения площадей осинников (рис. 4.1в). Таким образом, в составе преобладают хвойные (рис. 4.1).

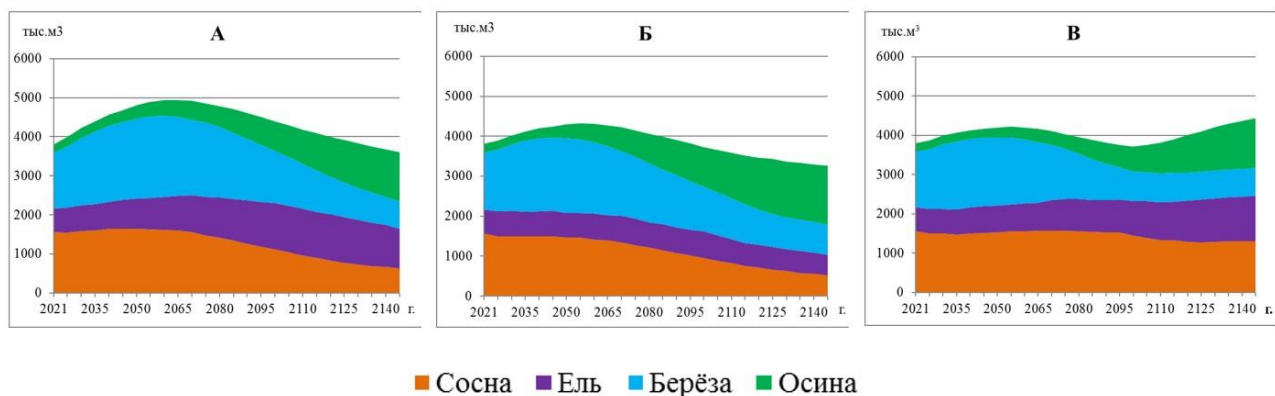


Рисунок 4.1 – Динамика породного состава по запасу насаждений для трех сценариев ведения хозяйства СЭ_БК (А); СЭ_ЛК_БУ (Б); СЭ_ЛК_У (В)

В соответствии с изменениями запасов пород меняются и прогнозируемые объемы их заготовки (рис. 4.2). Сценарии СЭ_БК и СЭ_ЛК_БУ, не предусматривающие ухода за лесами, через 50–60 лет приводят к существенному снижению объёмов заготовки хвойных пород, которая замещается осиной.

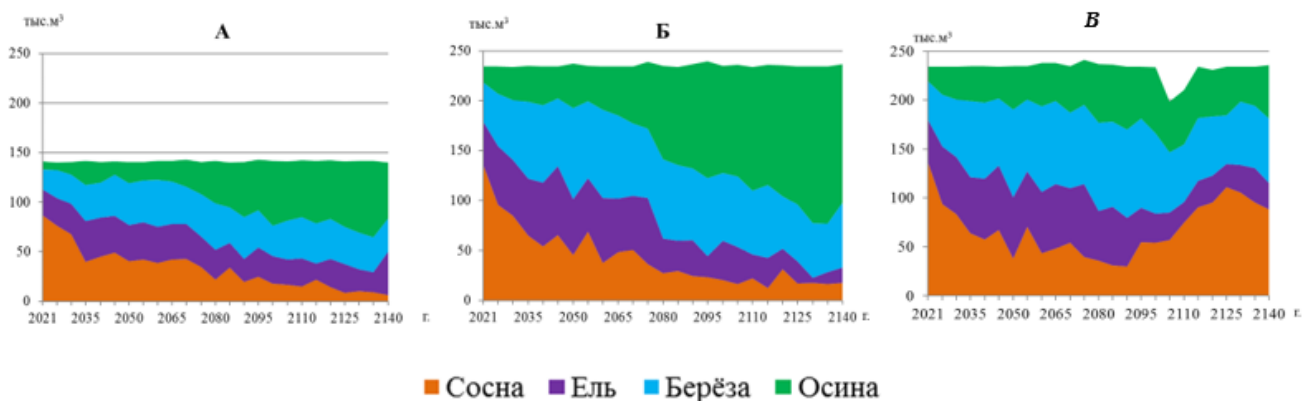


Рисунок 4.2 – Прогнозируемые объемы заготовок древесины в сценариях СЭ_БК (А); СЭ_ЛК_БУ (Б); СЭ_ЛК_У (В)

Сценарий СЭ_ЛК_У с применением рубок ухода позволяет достичь наилучших показателей объема и породного состава заготавливаемой древесины, так как с 2095 года (начало второго оборота рубки для хвойных пород) наибольшие объемы заготовки составляет сосна, сценарий является наиболее перспективным.

На основе динамики древостоев была проанализирована относительная освещенность на уровне почвы при различных сценариях ведения лесного хозяйства (рис. 4.3). Гистограммы описывают изменение площади лесных земель с различным уровнем освещенности напочвенного покрова. Проведение рубок

разреживает лесной полог, вследствие чего повышается освещенность на участке. Появляются площади с относительной освещенностью 20–50 и 50–100%, что благоприятно сказывается на продуктивности брусники и малины. При этом большую площадь лесничества составляют участки, предпочтительные для произрастания черничников (до 15%).

4.5. Ресурсный потенциал ягодников на объекте

На территории Паше-Капецкого участкового лесничества наиболее продуктивны черника и брусника. Черника при различных сценариях ведения хозяйства изменяется от 25 до 48 т/год, и брусника – от 7 до 15 т/год (рис. 4.4). Самым эффективным сценарием является СЭ_ЛК_У – сценарий с проведением посадки лесных культур на 50% от пройденных сплошными рубками участков и обязательным уходом в молодняках и средневозрастных насаждениях (Колычева, 2021, 2022; Колычева, Чумаченко, 2022 б, в).

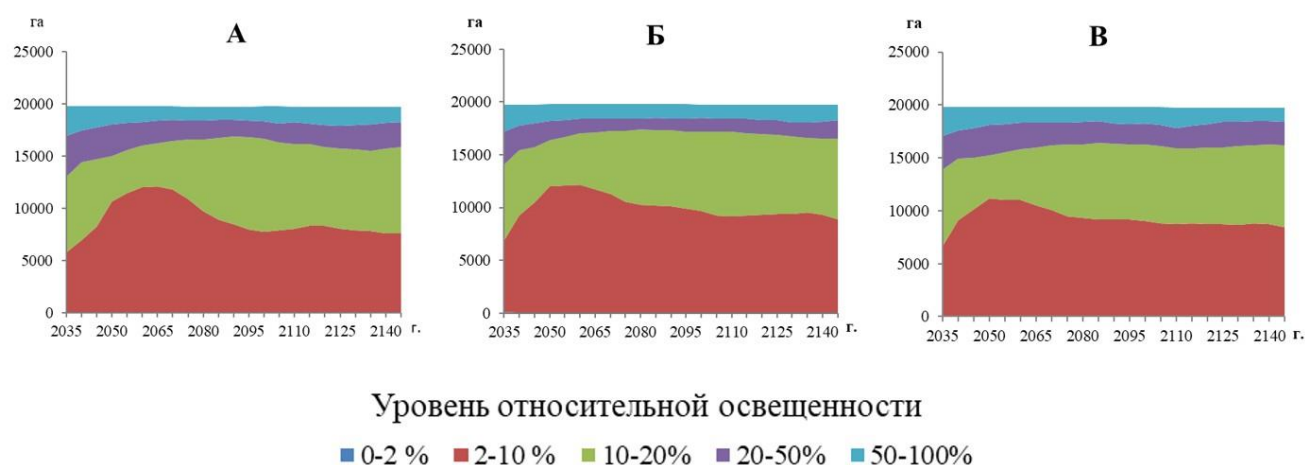


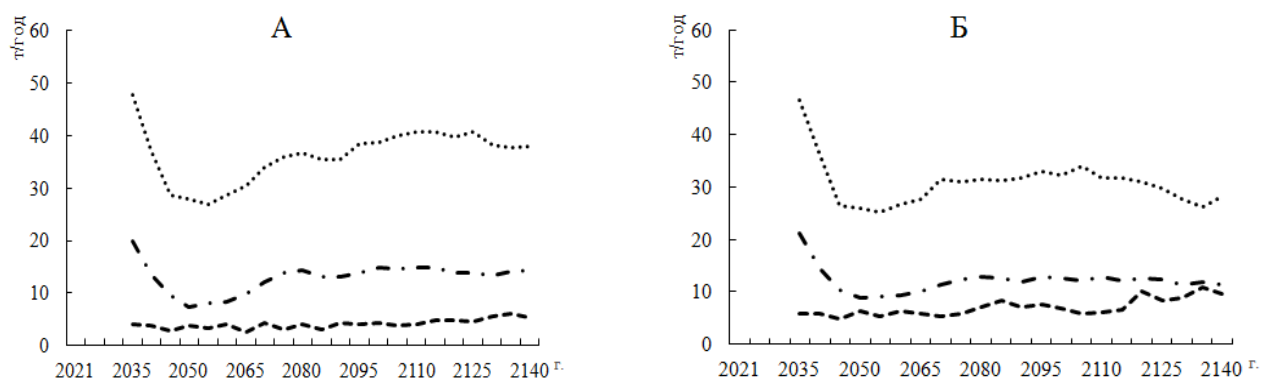
Рисунок 4.3 – Изменение площади лесных земель с различным уровнем освещенности на уровне почвы для трех сценариев ведения хозяйства в сценариях СЭ_бК (А); СЭ_ЛК_бУ (Б); СЭ_ЛК_У (В)

Наименьшая урожайность зафиксирована в сценарии СЭ_ЛК_бУ, что является следствием отсутствия ухода в лесных культурах при высокой густоте насаждений и последующей смены сосны на осину, под пологом которой не формируются ягодники.

СЭ_ЛК_У – сценарий ведения хозяйства, который дает максимальные стабильные урожаи черники на всем периоде моделирования, наименьшие показатели зафиксированы в сценарии СЭ_ЛК_БУ. Такое распределение напрямую связано с биологическими характеристиками ягодника, который угнетается под воздействием сплошных рубок, а без ухода за лесными культурами не формируется полог средней полноты, в котором черника дает максимальные урожаи. В отсутствии рубок ухода, запасы ягодных кустарничков не успевают восстановиться к возрасту спелости (Панин, 2019).

Потенциал брусничников ниже черничников, но запасы на объекте также значительны.

Малина произрастает и плодоносит в производственных объемах только на открытых участках. Оптимальными условиями для плодоношения являются открытые места, пройденные сплошными рубками – участки со второго года после рубки и до смыкания полога насаждения. Наибольшая продуктивность прогнозируется в первые 15 лет для сценария СЭ_ЛК_У (рис. 4.4). Рубка больших площадей предполагает разрастание малинников. Посадки культур и уходы за молодняками оказывают небольшое влияние на урожай малины, так как основную массу ягод можно получить в междурядьях молодняков возраста до 15 лет.



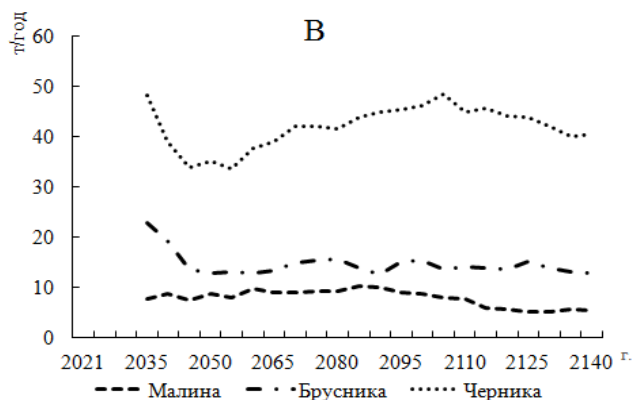


Рисунок 4.4 – Прогнозируемый урожай ягод в сценариях СЭ_бК (А); СЭ_ЛК_бУ (Б); СЭ_ЛК_У (В)

4.6. Прогноз доходности заготовки пищевых ресурсов

Был рассчитан суммарный потенциал прибыли со всего Паше-Капецкого участкового лесничества от заготовки ягод. Для этого использовались закупочные цены ресурсов на территории Тихвинского района, полученные с сайтов и соцсетей объявлений скупки ягод и грибов на 2021 год. Стоимость закупки ягод для черники и брусники составляла 200 руб/кг, малины 160 руб/кг. Не учитывались затраты на заготовку и транспортировку ягод (Колычева, 2021, 2022; Колычева, Чумаченко, 2022 б, в).

Высокие показатели доходности достигаются в сценарии СЭ_ЛК_У – от 10 до 15 млн руб. в год со всей площади участкового лесничества. Наименьший суммарный доход от 7 до 14 млн руб. в год наблюдается в сценарии СЭ_ЛК_бУ с высоким процентом освоения расчетной лесосеки и отсутствием ухода в молодняках. В среднем разница между сценариями в размере дохода составляет 2 млн руб. в год (или 13–20%) (Колычева и др., 2023; Kolycheva et al., 2023).

4.7. Подбор участков для промышленной заготовки лесных ягод и участков для нужд местного населения

Исходя из пространственных и таксационных характеристик объекта выявлено, что не все выделы могут быть пригодны для промышленной заготовки. Для оценки транспортной доступности выделов и их близости к населенным пунктам в программных комплексах ГИС были векторизованы дороги с

подразделением их по проходимости, а также населенные пункты. В качестве базовой информации для векторизации использовались общедоступные векторные и растровые карты, данные дистанционного зондирования. Был сформирован граф дорог, дополненный кратчайшими расстояниями от существующих дорог до центров выделов участкового лесничества с учетом естественных преград – рек, болот и т.п. Далее, используя инструменты сетевого анализа, в ГИС рассчитана удаленность каждого выдела от дорог, доступных для проезда легковых автомобилей, и удаленность от населенных пунктов с учетом всех существующих дорог.

В зону промышленной заготовки были включены участки, находящиеся на расстоянии более 2 км от населенных пунктов, но менее 5 км от дорог, доступных для легкового транспорта в летний период (рис 4.5) (на карте представлены красным цветом). Таким образом, выделена зона возможной промышленной заготовки, которая не затрагивает интересы местного населения и будет экономически рентабельна заготовителям. Помимо экономической рентабельности от заготовки пищевых ресурсов, учтен и социальный фактор – необходимость оставлять зоны свободные от промышленной заготовки для заготовки ресурсов местным населением в личных целях. Известно, что большая часть пищевых ресурсов собирается и перерабатывается не в коммерческих целях, а населением в порядке самообеспечения (Колерова, 2016).

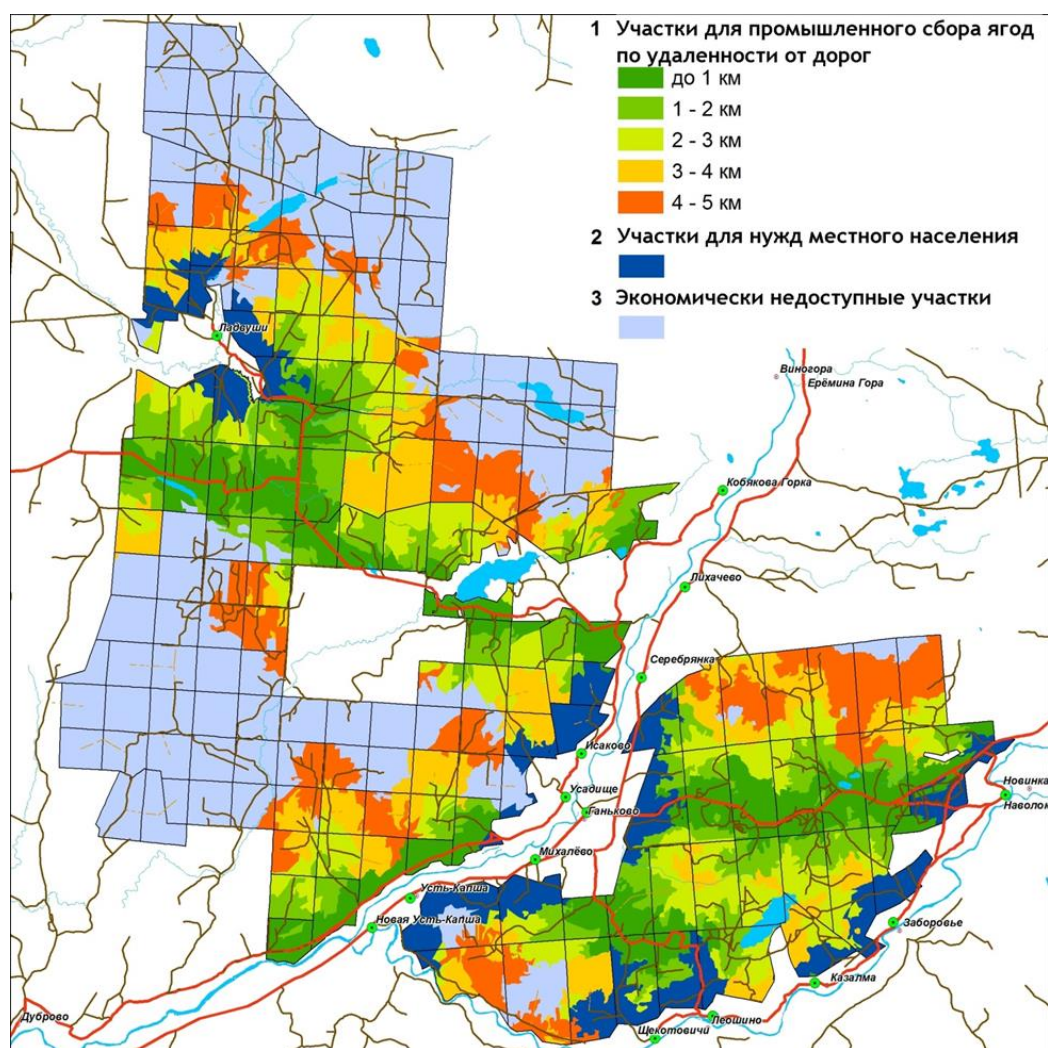


Рисунок 4.5 – Зонирование территории Паше-Капецкого лесничества по доступности пищевых ресурсов

Возможность промышленной заготовки осуществима только на 42% от всей территории, при этом объем возможной заготовки на этих участках варьирует от 37 до 48% от общих запасов в зависимости от сценария.

На рисунке 4.6 приведен потенциальный доход от заготовки ягод по зонам. 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. 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 (Колычева и др., 2023; Kolychева et al., 2023).

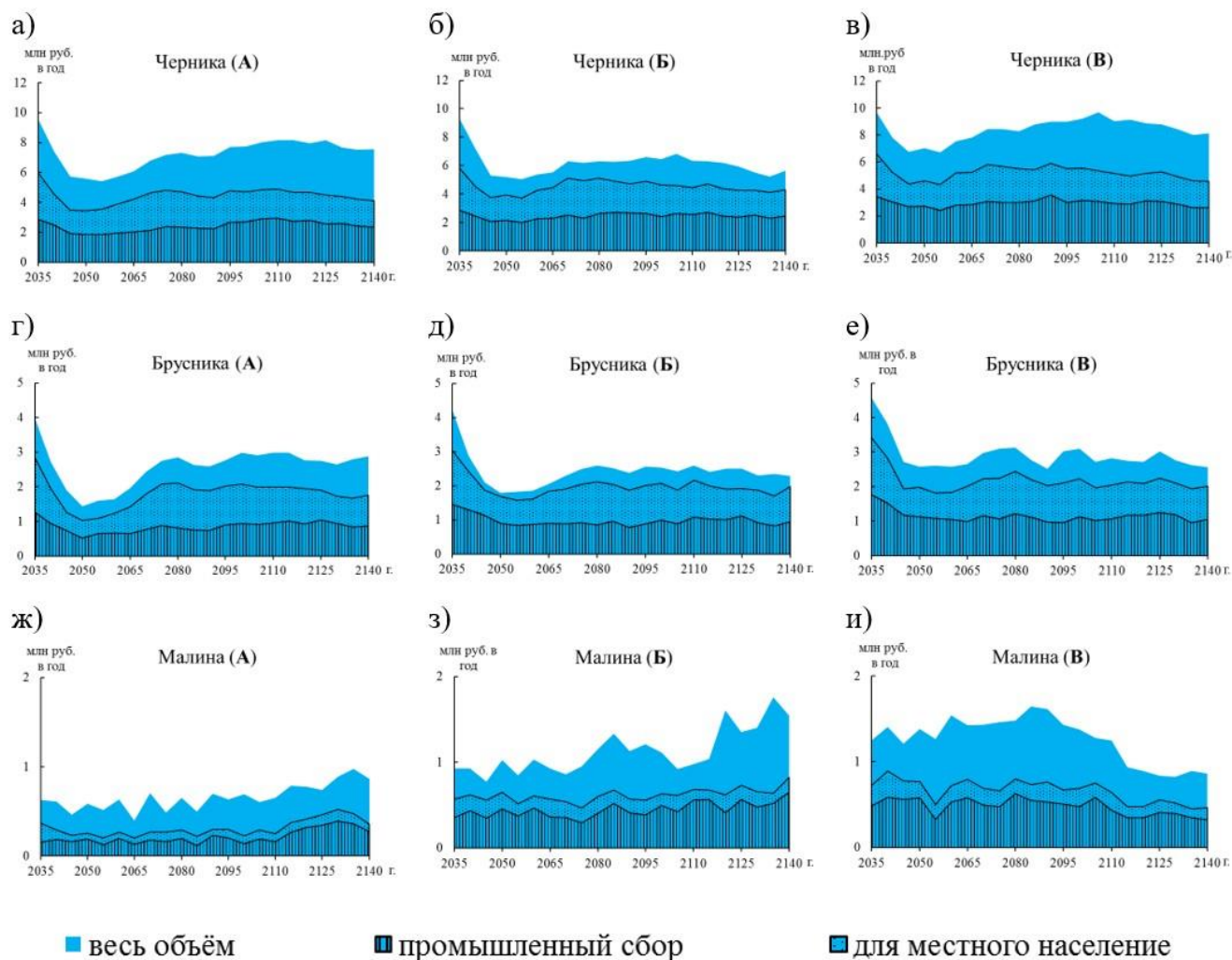


Рисунок 4.6– Потенциальный доход от заготовки лесных ягод по зонам в сценариях СЭ_БК (А); СЭ_ЛК_БУ (Б); СЭ_ЛК_У (В)

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.

Участки для нужд местного населения занимают 30% всей территории лесничества, при этом запас ягод на таких участках составляет 28–33% от

потенциально возможной суммы. Запас черники для местного населения оценен в 1–2,5 млн руб. в год, брусники 0,5–1,5 млн руб. в год, малины 0,1–0,2 млн руб. в год (рис. 4.6).

Экономически недоступные участки занимают 28% территории лесничества. В среднем, на этих участках остается 27–36% ресурсов в зависимости от сценария ведения хозяйства. Вовлечению этих ресурсов в заготовку может помочь расширение дорожной сети.

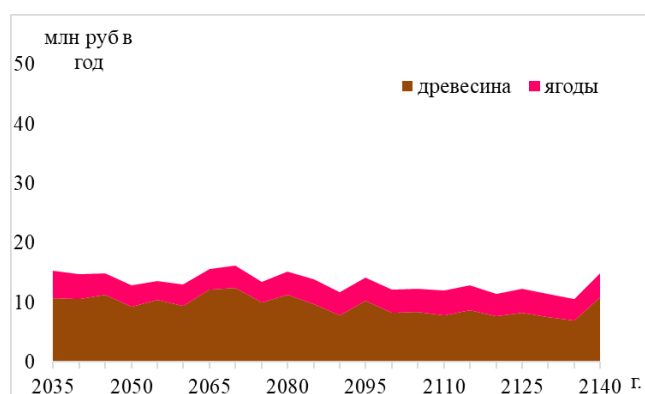
4.8. Доходность лесного участка от совместной заготовки древесины и лесных ягод

При расчете потенциального дохода с участка от совместной заготовки древесины и ягод были использованы результаты, полученные по методике подхода оценки экономической доходности древесных ресурсов леса (Каракчиева, Чумаченко, 2013, 2016). Потенциальный доход от заготовки древесины на территории Паше-Капецкого участкового лесничества был представлен в работе (Шорохов, Чумаченко, 2021; Чумаченко, Шорохов, 2022), где включены такие параметры как затраты на посадку культур, на уходы за молодняками и средневозрастными насаждениями, на защиту и охрану леса, на аренду, а также доход от выборочных и сплошных рубок. При этом расчеты включают определение транспортной составляющей (Чумаченко, Каракчиева, 2018), таким образом получен чистый доход от заготовки древесины и лесных ягод (рис. 4.7). Доход от заготовки древесины составляет большую часть, но изменяется в зависимости от способа ведения хозяйства. При этом, урожай ягод приносит дополнительную прибыль от 17 до 29% в зависимости от сценария, в среднем заготовка ягод на территории лесничества повышает доходность на 23%.

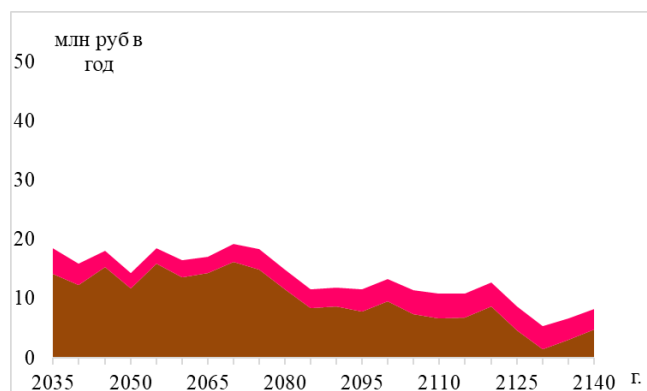
Исследования показали, что за весь период чистый доход от заготовки древесины в сценарии СЭ_бК может варьировать от 7 млн руб. до 12,3 млн руб., в среднем составляет 10,4 млн руб. В сценарии СЭ_бК от 1,4 млн руб. до 14,1 млн руб., что в среднем составляет 9,9 млн руб. В сценарии СЭ_ЛК_У прибыль имеет широкий диапазон изменения от 8,0 млн руб. до 48,5 млн руб. Такой всплеск после

2095 года связан с наступлением возраста спелости посаженных на первых шагах моделирования хвойных культур и их дальнейшей заготовкой (Киселева и др., 2021 а,б). Средний доход от промышленной заготовки ягод в этих сценариях составляет 4,5–5 млн руб (Прогноз урожайности..., 2023). Таким образом, при невозможности организовать интенсивное лесопользование заготовка пищевых ресурсов леса может принести дополнительный доход, сопоставимый с прибылью от рубок древесины.

а)



б)



в)

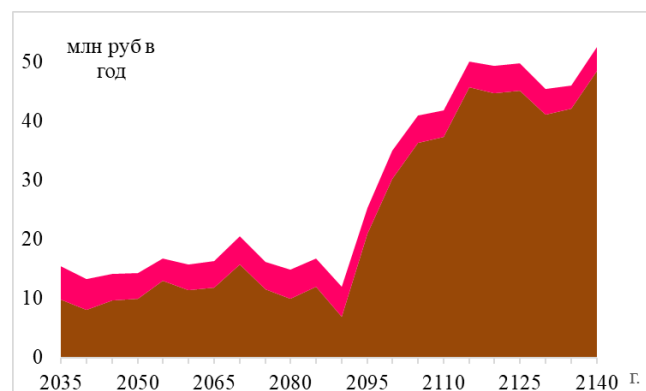


Рисунок 4.7 – Прибыль от совместной заготовки древесины и лесных ягод а) сценарий СЭ_бК; б) сценарий СЭ_ЛК_бУ; в) сценарий СЭ_ЛК_У

Сценарий СЭ_ЛК_бУ, предполагающий активную заготовку древесины и формальное выполнение требований проекта лесовосстановления, в долгосрочной перспективе приводит как к качественному изменению состава вырубаемой древесины и падению дохода, так и к снижению суммарной продуктивности ягодников.

Таким образом, при рассмотрении перспективы выбора сценария, нацеленного на промышленную заготовку ягод для получения дополнительной прибыли, рекомендуется сценарий СЭ_ЛК_У, доходность которого колеблется от 4,1 до 5,7 млн руб. в год, вторым по доходности является сценарий СЭ_БК – от 3,2 до 4,6 млн руб. в год и самым низкоэффективным является сценарий СЭ_ЛК_БУ с возможным доходом от 2,5 до 4,4 млн руб. в год (Прогноз урожайности..., 2023).

Заключение по главе 4

Выяснено, что при многоцелевом лесопользовании, заготовка ягод повышает доходность лесного участка в среднем на 23%. Расчет проведен по производственной продуктивности, вследствие чего на участках остается достаточно ресурса для возобновления. Был 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/га, в зависимости от сценария ведения хозяйства. Вторыми по продуктивности являются брусничники – 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. 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 большой, для заготовки подходит не вся территория. Проведенный анализ с использованием ГИС и решением задачи транспортного моделирования показал, что участок делится на зоны: (1) которые необходимо оставить для заготовки местным населением, (2) на которых возможно вести промышленную заготовку и (3) экономически нерентабельные участки. Из всего запаса ягодных ресурсов в заготовку может идти только 37–48%, 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.

Подсчитан экономический потенциал участков для промышленной заготовки ягод, выяснено, что наиболее перспективным сценарием является сценарий СЭ_ЛК_У с посадкой лесных культур и полным циклом ухода за ними, доходность от заготовки ягод на участке составляет 4,1–5,7 млн руб. в год. Затем следует сценарий СЭ_БК, где отсутствуют посадки лесных культур и уходы, доходность здесь снижается по сравнению с предыдущим, но получение дополнительного дохода составляет 3,2–4,6 млн руб. в год. Наименее перспективным является сценарий СЭ_ЛК_БУ с посадкой лесных культур и отсутствием ухода за ними, вместе с продуктивностью насаждения снижается и продуктивность ягодников, а выручка, которую можно получить, составляет 2,5–4,4 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, В.А. Световой режим леса / В.А. Алексеев. – Ленинград: Наука, 1975. – 228 с.
2. Архипенко, Н.А. Моделирование долгосрочной динамики многовидовых разновозрастных лесных насаждений национального парка "Браславские озера" при различных сценариях ведения лесного хозяйства и природопользования / Н.А. Архипенко, С.И. Чумаченко // Труды БГТУ – Лесное хозяйство. – 2012. – № 1. – С. 19–22.
3. Астрологова, Л.Е. Влияние экологических факторов среды на плодоношение черники / Л.Е. Астрологова // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 1999. – № 2–3. – С. 36–40.
4. Белоногова, Т.В. Биологическая продуктивность нижних ярусов растительности сосновых фитоценозов Южной Карелии: автореф. дис. ... канд.биол. наук: 03.00.05 / Белоногова Татьяна Владимировна. – Петрозаводск, 1973. – 24 с.
5. Белоногова, Т.В. Формирование урожая черники и брусники в лесах южной Карелии / Т.В. Белоногова, Л.Г. Румянцева // Система лесохозяйственных мероприятий в сосновых лесах Карелии: сб. науч. тр. – Петрозаводск, 1985. – С. 128–137.
6. Беляева, Н.В. Сравнительная оценка структуры живого напочвенного покрова после рубок ухода и комплексного ухода за лесом в сосняках брусничных / Н.В. Беляева, А.В. Грязькин, Н.В. Ковалев и др. // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 6. – С. 193–198.
7. Биологическая флора Московской области. Вып. 12. Малина обыкновенная. Давлетшина Г.Т., Уланова Н.Г. / Под редакцией В.Н. Павлова и В.Н. Тихомирова – М.: Агрис, 1996. – 182 с.
8. Биологическая флора Московской области. Вып. 4. Брусника обыкновенная. Баландина Т.П., Вахрамеева М.Г. / Под ред. Т.А. Работнова. – М.: Изд-во Московского университета, 1978. – 232 с.

9. Биологическая флора Московской области. Вып. 5. Черника обыкновенная. Баландина Т.П., Вахрамеева М.Г. / Под ред. Т.А. Работнова. – М.: Изд-во Московского университета, 1980. – 192 с.
10. Биоресурсный потенциал географических ландшафтов северо-запада таежной зоны России (на примере Республики Карелия): монография / Н.В. Петров, А.Д. Волков, А.Н. Громцев, и др.; отв. ред. А. Д. Волков, А. Н. Громцев. – Петрозаводск: ИЛ КНЦ РАН. – 2005. – 188 с.
11. Богданова, Г.А. Брусника в лесах Сибири / Г.А. Богданова, Ю.М. Муратов – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. – 117 с.
12. Болтвина, Е.К. Модели оптимизации заготовки дикорастущей продукции с интервальными параметрами / Е.К. Болтвина, Я.М. Иванько // Вестник ИрГТУ. – 2016. – №6 (113). – С.73–81.
13. Большаков, Б.М. Состояние и перспективы использования недревесных ресурсов леса / Б.М. Большаков // Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (Кострома, 10–11 сентября, 2014 г.). – Пушкино: ВНИИЛМ, 2014. – С. 7–11.
14. Большаков, Н.М. Новый подход к лесопользованию / Н. М. Большаков // Известия ВУЗов. – Лесной журнал. – 2009. – №4. – С.1–12.
15. Брусника: морфология и анатомия. Фитоценотическая приуроченность. Урожайность. Хранение и переработка. Химический состав ягод / В.Ф. Юдина, Т.В. Белоногова, К.Г. Колупаева – Москва: Лесная промышленность, 1986. – 80 с.
16. Булгаков, Н.К. Технология заготовки и переработки недревесных ресурсов леса: учебное пособие / Н.К. Булгаков, С.Н. Козьяков, А.В. Фесюк – М.: Лесная промышленность, 1987. – 224 с.
17. Вельм, М.В. Формирование предложения на региональном рынке пищевых ресурсов леса / М.В. Вельм // Вестник ИрГТУ. – 2009. – №1 (37). – С.92–94.
18. Воробьев, Д.В. Типы лесов Европейской части СССР/ Д.В. Воробьев. – Киев: Изд-во АН УССР, 1953. – 452 с.

19. Восточноевропейские леса: История в голоцене и современность / Под ред. Смирновой О.В. – Том 1 – М.: Наука, 2004. – 480 с.
20. Геникова, Н.В. Изменения структуры напочвенного покрова в сосняках черничных разного возраста и полноты / Н.В. Геникова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – №1–5. – С. 1214–1218.
21. Горнов, А.В. Классификация лесов с использованием определителя типов леса Европейской России (на примере Карелии и Карельского перешейка) / А.В. Горнов // Вопросы лесной науки. – 2018. – №1. DOI 10.315092658-607x-2018-1-1-1-53.
22. Горобец, В.А. Недревесная продукция леса: учеб. пособие / В.А. Горобец, В.А. Славский. – Воронеж: ВГЛТА, 2013. – 169 с.
23. Горышина, Т.К. Экология растений: учеб. пособие / Т.К. Горышина. – М.: Высшая школа, 1979. – 368 с.
24. Грабовский, В.И. Зависимость запасов древесины в лесах России от климатических параметров / В.И. Грабовский, Д.Г. Замолотчиков // Лесоведение. – 2019. – № 2. – С. 83–92. – DOI 10.1134/S0024114819020025.
25. Грибов, С.Е. К вопросу использования лесов и дикорастущих ягод в Вологодской области / С.Е. Грибов, А.В. Грязькин, С.А. Корчагов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – № 216. – С. 33–42.
26. Грязькин, А.В. Потенциальные ресурсы лесных ягод в Вологодской области / А.В. Грязькин, С.А. Корчагов, С.Е. Грибов, М.М. Гуталь, Ч. Ч. Тхань // The Scientific Heritage. – 2020. – №45–2 (45).
27. Грязькин, А.В. Продуктивность *Vaccinium vitis-idaea* L. в условиях антропогенного воздействия / А.В. Грязькин, Ю.В. Павлов, А.С. Ходачек // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2010. – № 193. – С. 32–42.
28. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники: методические разработки для студентов биологических специальностей. / Под ред. О.В. Смирновой. – М.: «Прометей» МГПУ им. В.И. Ленина, 1989. Ч. I. – 102 с.

29. Доан, Т.Н. Оценка запасов лекарственных растений в лесах Ленинградской области / Т.Н. Доан, В.Ю. Нешатаев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2022. – № 240. – С. 99–111. – DOI 10.21266/2079-4304.2022.240.99-111.

30. Дулина, А.А. Обзор моделей оценки пищевых ресурсов лесов центральной части России / А.А. Дулина, С.И. Чумаченко // Вопросы лесной науки. – 2018. – № 1. – С. 1–22.

31. Дулина, А. А. Обоснование учета освещенности для моделирования пищевых ресурсов лесов Центральной части России / А.А. Дулина, С.И. Чумаченко // 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.

32. Евстигнеев, О.И. Отношение лиственных деревьев к свету / О.И. Евстигнеев // Биол. науки. – 1991. – Т. 8. – № 332. – С. 20–29.

33. Егорова, Н.Ю. *Vaccinium myrtillus* L. в Кировской области (южно-таежная подзона): фитоценотическая приуроченность, экологические предпочтения / Н.Ю. Егорова, Т.Л. Егошина, А.В. Ярославцев // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2021. – № 53. – С. 68–88. doi: 10.17223/19988591/53/4.

34. Егорова, Н.Ю. Динамика урожайности плодов *Vaccinium myrtillus* L. в ельниках северо-востока европейской России / Н.Ю. Егорова, Т.Л. Егошина, А.В. Ярославцев, Д.А. Шлыкова, С.И. Оботнин // Сб. статей II Международной научно-практической конференции Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения (Киров, 27-31 мая, 2019 г.). – Вятский государственный университет, 2019. – С. 264–267.

35. Егошина, Т.Л. Недревесные растительные ресурсы России / Т.Л. Егошина. – М.: НИА-Природа, 2005. – 80 с. (б)

36. Егошина, Т.Л. Недревесные растительные ресурсы России и их использование / Т.Л. Егошина // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2005. – № 4. – С. 104–111. (а)
37. Залесов, С.В. Ресурсы ягодных кустарничков в ельнике мшистом североуральской среднегорной лесорастительной провинции / С.В. Залесов, И.А. Панин // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2017. – Т. 21. – № 1. – С. 21–27.
38. Зворыкина, К.В. Влияние вырубki на урожайность черники / К.В. Зворыкина // Киров: Всесоюзный научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства, 1972. – С. 17–19.
39. Зворыкина, К.В. Плодоношение черники в лесу и на вырубках / К.В. Зворыкина // Растит. ресурсы. – Т. 6. – 1970. – Вып. 4. – С. 550–557.
40. Изменение климата. Физическая научная основа, резюме для политиков, техническое резюме и часто задаваемые вопросы / Ред. Т. Ф. Стокер и др. – МГЭИК, 2013.
41. Исаченко, А.Г. Физико-географическое районирование Северо-Запада СССР / А.Г. Исаченко, З.В. Дашкевич, Е.В. Карнаухова. – Л.: изд-во ЛГУ, 1965. – 248 с.
42. Казаков, И.В. Малина и ежевика / И.В. Казаков – М.: Колос, 1994. – 141 с.
43. Казанцева, М.Н. Плодоношение малины обыкновенной (*Rubus idaeus* L.) в лесах на юге Тюменской области / М.Н. Казанцева, Л.Р. Мирьяминова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2017. – № 47. – С. 1–4.
44. Каракчиева, И.В. Роль информационно-экономического моделирования стоимостной оценки биоресурсов леса / И.В. Каракчиева, С.И. Чумаченко // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2013. – № 7. – С. 128–130.
45. Каракчиева, И.В. Система оценки экономической доходности древесных ресурсов леса и экономической доступности лесных участков / И.В. Каракчиева, С.И. Чумаченко // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 7-2. – С. 372–377.

46. Карпачевский, Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе / Л.О. Карпачевский. – Изд-во Моск. унив-та., 1977. – 312 с.

47. Киселева, В.В. Ресурсные и экономические аспекты неистощительного лесопользования / В.В. Киселева, С.И. Чумаченко, Е.М. Митрофанов, В.Н. Карминов, А.А. Колычева // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VI Всероссийской научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 26–28 мая, 2021 г.). – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2021. – С. 212–215.(а)

48. Киселева, В. В. Влияние режимов лесопользования на структурное разнообразие лесных экосистем: результаты сценарного моделирования / В.В. Киселева, С. И. Чумаченко, А. А. Колычева // 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. (б)

49. Кислицына, А.В. Основные ресурсные и популяционные параметры *Vaccinium myrtillus* L. в южнотаёжных лесных экосистемах Кировской области / А.В. Кислицына, Т.Л. Егошина // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2016. – №3 (31). – С. 77 – 86

50. Ключников, Л.Ю. Лесоводственное содействие промысловому воспроизводству брусники и грибов в борах и субориях/ Л. Ю. Ключников, И. Л. Ключников // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2001. – №2. – С. 17–28.

51. Ключников, Л.Ю. Побочное лесопользование: учебное пособие / Л.Ю. Ключников. – М.:ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 68 с.

52. Кожухов, Н.И. Экономический подход к оценке рубок, воспроизводства и потребления пищевых продуктов леса / Н.И. Кожухов, И.Л. Ключников // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2000. – №1. – С. 26–28.

53. Козловский, В.Б. Ход роста основных лесобразующих пород / В.Б. Козловский, В.М. Павлов. – М.: Лесная промышленность. – 1967. – 328 с.

54. Козубов, Г.М. Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / Г.М. Козубов, А.И. Таскаев – М.: Издательско-продюсерский центр «Дизайн. Информация. Картография», 2000. – 512 с.
55. Колерова, В. Страна Дикоросия / В. Колерова // Бизнес-журнал. – 2016. – №3 (239). – С. 26–31.
56. Колобов, Н.В. Климат Среднего Поволжья / Н.В. Колобов. – Казань: Изд-во Казан, ун-та, 1968. – 253 с.
57. Колычева, А.А. Долгосрочный прогноз урожайности лесных ягод при различных видах рубок / А.А. Колычева, С.И. Чумаченко // 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.
58. Колычева, А.А. Оценка урожайности лесных ягод с учетом уровня освещенности напочвенного покрова методами имитационного моделирования / А.А. Колычева, С.И. Чумаченко // Вопросы лесной науки. – 2021. – №3. – Статья №90. – С. 1–25.
59. Колычева, А.А. Экономическая оценка лесных ягодников в зависимости от особенностей лесных участков / А.А. Колычева // 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.
60. 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.
61. Колычева, А.А. Имитационное моделирование урожайности лесных ягод с учетом освещенности на уровне напочвенного покрова / А.А. Колычева, С.И.

Чумаченко, В.В. Киселева, А.Ю. Агольцов, В.Н. Карминов, Е.М. Митрофанов // Математическое моделирование в экологии (ЭкоМатМод): Материалы Седьмой Национальной научной конференции с международным участием, Пушкино, 09–12 ноября 2021 года. – Пушкино: ФИЦ ПНЦБИ РАН, 2021. – С. 54–56.

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

63. Колычева, А.А. Эколого-экономическая оценка лесных ягодников при различных сценариях ведения лесного хозяйства на долгосрочный период методами имитационного моделирования / А.А. Колычева // 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.

64. Колычева, А. А. Влияние изменения климата на урожайность лесных ягод / А. А. Колычева, С.И. Чумаченко // Устойчивое лесопользование. – 2022. – № 3(70). – С. 40–42. – DOI 10.47364/2308-541X_2022_70_3_40.(a)

65. Колычева, А.А. Потенциал урожая черники, брусники, малины с учетом особенностей участка и сценария ведения лесного хозяйства / А.А. Колычева, С.И. Чумаченко // 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.(б)

66. Колычева, А.А. Оценка урожая лесных ягодников в зависимости от особенностей лесных участков / А.А. Колычева, С.И. Чумаченко // 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.(в)

67. Колычева, А.А. Анализ запасов и условий заготовки лесных ягод с учетом их пространственного распределения и доступности / А.А. Колычева, С.И. Чумаченко, В.В. Киселева, А.Ю. Агольцов // Лесоведение. – 2023. – №5. – С.513–525.
68. Конюхова, О.М. Взаимосвязь урожайности черники обыкновенной с фитобиоценозом / О.М. Конюхова, К.А. Масленникова, А.В. Канарский // Вестник Казанского технологического университета. 2013. – №22. – С. 222–224.
69. Косицын, В.Н. Стоимостная оценка ресурсов морошки в подзоне южной тайги / В.Н. Косицын // Лесохозяйственная информация. – 1996. – Вып. 12. – С. 18–23.
70. Косицын, В.Н. Экономическая оценка ресурсов дикорастущих ягодников / В.Н. Косицын // Растительные ресурсы. – 1998. – Т. 34. – Вып. 4. – С. 76–81.
71. Крышень, А.М. Морфоструктура напочвенного покрова основных типов лесных сообществ заповедника «Кивач» (средняя тайга) / А.М. Крышень, О.А. Рудковская, Преснухин Ю.В., Тимофеева В.В. // Труды КарНЦ РАН. –2006. №10. – С. 54–61.
72. Куприянов, Н.В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области / Н.В. Куприянов, С.С. Веретенников, В.В. Шишов. – Н.Новгород: Волго-Вятское книжное изд-во, 1995. – 352 с.
73. Курлович, Л.Е. Руководство по учету и оценке второстепенных лесных ресурсов и продуктов побочного лесопользования / Л.Е. Курлович, А.Ф. Николаев, В.Н. Черкасов, Г.В. Косицын – Пушкино: ВНИИЛМ, 2003. – 315 с.
74. Курлович, Л.Е. Влияние лесохозяйственной деятельности на состояние и продуктивность пищевых и лекарственных растений / Л.Е. Курлович, В.Б. Панков, И.М. Кивилева // Лесохозяйственная информация. – 2015. – № 2. – С. 24–34.
75. Курлович, Л.Е. Методические рекомендации по оценке лесных ресурсов (за исключением древесины) при государственной инвентаризации лесов/ Л.Е. Курлович, В.Н. Косицын. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2019. – 45 с.

76. Курлович, Л.Е. Таксационный справочник по лесным ресурсам России (за исключением древесины) / Л.Е. Курлович, В.Н. Косицын. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2018. – 282 с.
77. Курнаев, С.Ф. Лесорастительное районирование СССР / С.Ф. Курнаев. – М., 1973. – 203 с.
78. Лесная таксация и лесоустройство / В.В. Загреб, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалев, Ш.А. Селимов. – Москва: Экология, 1991. – 384 с.
79. Лесное ресурсоведение: Учебное пособие / А.И. Жукова, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева, А.С. Ледяева – СПб: СПб ГЛТА, 2008. – 215 с.
80. Лесной кодекс Российской Федерации: от 04.12.2006 № 200-ФЗ: принят Гос. Думой 08 ноября 2006 г.: одобр. Советом Федерации 24 нояб. 2006 г. (ред. от 04.09.2023). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902017047>
81. Летопись природы Государственного природного биосферного заповедника «Брянский лес». – Книга 29, часть 1. – Нерусса, 2017. – 135 с.
82. Летопись природы Государственного природного биосферного заповедника «Брянский лес» – Книга 24, часть 1. – Нерусса, 2012. – 170 с.
83. Летопись природы Приокско-Тerrasного государственного заповедника. – Книга первая. – Данки, 1948. – 59 с.(а)
84. Летопись природы Приокско-Тerrasного государственного заповедника. – Книга вторая. – Данки, 1948. – 56 с.(б)
85. Летопись природы Приокско-Тerrasного государственного заповедника. – Книга шестьдесят девятая. – Данки, 2017. – 222 с.
86. Летопись природы Приокско-Тerrasного государственного заповедника. – Книга семидесятая. – Данки, 2018. – 197 с.
87. Лузан, А.А. Оценка влияния относительной полноты древостоя на урожайность *Vaccinium myrtillus* L. В верхнем течении р. Ия (Иркутская область) / А.А. Лузан // Вестник ИРГСХА. – 2015. – №68. – С. 44–49.
88. Лукина, Н.В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы / Н.В. Лукина // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Т. – 90. – №. 6. – С. 528–532. (б)

89. Лукина, Н.В. Леса в современном мире / Н.В. Лукина // Земля и Вселенная. – 2020. – № 6. – С. 18–26. DOI 10.7868/S004439482006002X. (a)
90. Мазная, Е.А. Эколого-популяционный мониторинг ягодных кустарничков при аэротехногенном загрязнении / Е.А. Мазная, И.В. Лянгузова. – СПб: ВВМ, 2010. – 195 с.
91. Малиновских, А.А. Влияние уровня освещенности под пологом леса на урожайность черники в условиях Среднеобского бора Алтайского края / А.А. Малиновских // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 6 (152). – С. 87–92.
92. Малиновских, А.А. Влияние уровня освещенности под пологом леса на урожайность брусники в условиях Среднеобского бора Алтайского края / А.А. Малиновских // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (138). – С. 105–109.
93. Мелехов, И.С. Лесоведение: учебник. / И.С. Мелехов. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 408 с.
94. Методика выявления дикорастущих сырьевых ресурсов при лесоустройстве. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР. – 1987. – 56 с.
95. Методика подбора земельных участков государственного лесного фонда для промысловой заготовки клюквы, брусники, черники, голубики – Государственный комитет СССР по лесному хозяйству. – 1986. – 96 с.
96. Мониторинг состояния лесных и городских экосистем: Монография / Под ред. В.С. Шалаева, Е.Г. Мозолева. – М.: МГУЛ. – 2004. – 235 с.
97. Морозова, Р.М. Географические закономерности формирования почвенного покрова Карелии / Р.М. Морозова // Биogeография Карелии. Тр. КарНЦ РАН. Серия "Биология". – 2001 – № 2. – С. 12–18.
98. Назарова, Л.Е. Климат. Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды / Л.Е. Назарова ред. А.Н. Громцев и др. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. – С. 6–8.

99. Назарова, Л.Е. Об оценке комфортности климата Карелии / Л.Е. Назарова // Труды Карельского научного центра РАН, 2011. – № 4. – С. 129–133.
100. Недревесная продукция леса / А.С. Коростелев, С.В. Залесов, Г.А. Годовалов: учебник. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. – 480 с.
101. Никитенко, Е.Б. Недревесные ресурсы леса: учебное пособие / Е.Б. Никитенко. – Иркутск: Изд-во БГУ, 2016. – 222 с.
102. Никитин, Б.А. Почвы Горьковской области / Б.А. Никитин – Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1978 – 192 с.
103. Обыденников, В.И. Использование и воспроизводство ресурсов ягодников в связи с рубками в сельских лесах Новгородской области / В.И. Обыденников, А.Н. Авдеев, Э.Н. Авдеев // Лесохоз. информ. – 2002. – № 10. – С. 15–21.
104. Обыденников, В.И. Сохранение, восстановление и повышение продуктивности ресурсов ягодников в связи с рубками главного промежуточного пользования / В.И. Обыденников, М.М. Войтюк // Лесной вестник/Forestry bulletin. – 2007. – №. 4. – С. 6–14.
105. Онтогенетический атлас лекарственных растений: учебное пособие / Отв. ред. Л.А. Жукова. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – Т. 7. – 364 с.
106. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Поддержка принятия решений по экосистемным услугам лесов Европы - определение ценности, синергетические эффекты и компромиссы», (промежуточный) Шифр «2018-14-588-0004». – М: ЦЭПЛ РАН, 2019. – 309 с. (а)
107. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Поддержка принятия решений по экосистемным услугам лесов Европы - определение ценности, синергетические эффекты и компромиссы», (заключительный) Шифр «2018-14-588-0004». – Москва: ЦЭПЛ РАН, 2020. – 250 с. (б)
108. Панин, И.А. Дикорастущие пищевые и лекарственные ресурсы России» учебно-методическое пособие / И.А. Панин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. – 85 с.

109. Панин, И.А. Ресурсы дикорастущих пищевых и лекарственных растений темнохвойных насаждений Североуральской среднегорной лесорастительной провинции Свердловской области: автореф. дис. ... канд. с-х наук: 06.03.02 / Панин Игорь Александрович. – Екатеринбург, 2019. – 20 с.

110. Панин, И.А. Ресурсы плодовых растений подлеска в ельнике мшистом Североуральской среднегорной лесорастительной провинции / И.А. Панин, С.В. Залесов // Лесохозяйственная информация. – 2017. – № 1. – С. 69–77.

111. Панин, И.А. Ресурсы ягодных растений ельников нагорного типа леса на склонах северной и южной экспозиций горы Косьвинский камень / И.А. Панин, С.В. Залесов // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 8. – С. 43–47.

112. Петров, В.Н. Подходы к экономической оценке лесных участков / В.Н. Петров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2012. – № 198. – С. 249–260

113. Петров, В.Н. Проблема учета лесных экосистемных услуг в лесном планировании / В.Н. Петров // Эффективное управление экономикой: проблемы и перспективы: Сборник трудов III региональной научно-практической конференции, Симферополь, 12–13 апреля 2018 года / Под общей редакцией В.М. Ячменевой. – Симферополь: ООО«Издательство Типография «Ариал», 2018. – С. 191-195.

114. Петров, В.Н. Экономический механизм ценообразования на древесные ресурсы на примере Финляндии и России / В.Н. Петров, Т.Е. Каткова // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 14–19 ноября 2016 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Том Часть 1. – СПб: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2016. – С. 309–312.

115. Петров, В.Н. Экосистемный подход к лесному планированию / В.Н. Петров // Леспроминформ. – 2014. – № 1 (99). – С. 22–24

116. Петров, Н.В. Леса и их многоцелевое использование на северо-западе европейской части таежной зоны России. Монография: раздел Ягоды / Н.В. Петров,

А.Н. Громцев, Н.Л. Литинская, L. Kerkelä – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. – 190 с.

117. Петров, Н.В. Сравнительная оценка запасов ягод *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea* (Ericaceae) в коренных и производных типах леса среднетаежных ландшафтов Карелии / Н.В. Петров // Растительные ресурсы. – 2019. – Т. 55. – № 1. – С. 23–35.

118. Погребняк, П.С. Основы лесной типологии / П.С. Погребняк. – Киев: изд-во АН Украинской ССР. – 1955. – 455 с.

119. Поздняков, Л.К. Толокнянка в лесах Якутии и Средней Сибири / Л.К. Поздняков, В.Ф. Мухина, В.М. Вершняк – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. – 1978. – 69 с.

120. Поздняков, Л. К. Лесное ресурсоведение / Л.К. Поздняков, Отв. ред. акад. А.Б. Жуков; АН СССР. Сибирское отделение. Институт леса и древесины им. В.Н. Сукачева. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1973. – 120 с.

121. Потенциальные запасы дикорастущих ресурсов Иркутской области. монография / Б.Н. Дицевич, Я.М. Иваньо, А.А. Лузан и др.; под редакцией Я.М. Иваньо. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2017. – 156 с.

122. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 01.12.2020 № 993 «Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации» (зарегистрирован 18.12.2020 № 61553). – 2020. – 48 с. (а)

123. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.07.2020 №534 «Об утверждении Правил ухода за лесами» (зарегистрирован 18.12.2020 №61555). –2020. – 327 с. (б)

124. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской федерации от 18 августа 2014 №367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» (зарегистрирован 29.09.2014 № 34186). – 2014 –31 с.

125. Прогноз урожайности черники, брусники, малины в лесах европейской части России: Монография / А.А. Колычева // М.: Издательство «Перо». –2023. – 132 с.
126. Разнообразие и динамика лесных экосистем России / А.С. Исаев, Л.П. Рысин, О.В. Смирнова и др.; в 2-х кн. п/ред. акад. А.С. Исаева – кн.2. – М: Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 478 с.
127. Рай, С.А. Формирование древесного яруса и напочвенного покрова на вырубках с разной технологией лесовосстановления в Кировской области / С.А. Рай, Н.В. Беляева, Е.Н. Наквасина // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – № 230. – С. 36–53.
128. Растительность европейской части СССР / С.А. Грибова, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко. – Л.: Наука, 1980. – 431 с.
129. Раус, Л.К. К методике фенологического прогнозирования урожая черники / Л.К. Раус // Вопросы индикационной фенологии и фенологического прогнозирования (материалы 7 и 8 совещаний актива фенологов Географического общества СССР). – Л., 1972. – С. 181–188.
130. Рынок дикоросов в России: высокий потенциал и низкий уровень развития: Обзор КМПГ. – КМПГ, 2021. – 39с.
131. Сергиенко, В.Г. Динамика живого напочвенного покрова и естественное лесовозобновление на вырубках / В.Г. Сергиенко, О.И. Соколова // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2012. – №2. – С. 35–41.
132. Старицын, В.В. О современном состоянии ресурсов брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и черники (*Vaccinium myrtillus* L.) в лесах Архангельской области / В.В. Старицын, В. В. Беляев // Arctic Environmental Research. – 2014. – №2. – С.35–41.
133. Тебенькова, Д.Н. Сценарный подход к моделированию развития лесных участков / Д.Н. Тебенькова, Н.В. Лукина, А.Д. Катаев, Ю.Н. Гагарин, А.И. Кузнецова, М.А. Орлова // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конференции (Москва, 30 октября – 1 ноября 2018 г.) – М.: ЦЭПЛ РАН, 2018. – С. 173–175.

134. Тебенькова, Д.Н. Мультифункциональное лесное хозяйство или заготовка древесины? / Д.Н. Тебенькова, А.Д. Катаев // Resources and Technology. – 2022. – №1. – С. 87–113.

135. Тебенькова, Д.Н. Мультифункциональность и биоразнообразие лесных экосистем / Д.Н. Тебенькова, Н.В. Лукина, С.И. Чумаченко, М.А. Данилова, А.И. Кузнецова, А.В. Горнов, Н.Е. Шевченко, А.Д. Катаев, Ю.Н. Гагарин // Лесоведение. – 2019. – № 5. – С. 341–356.

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

137. Телишевский, Д.А. Комплексное использование недревесной продукции леса 2-е изд., перераб. и доп. / Д.А. Телишевский. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 261 с.

138. Тимошок, Е.Е. Оценка ягодных ресурсов видов семейства брусничных Томской области, их рациональное использование и охрана / Е.Е. Тимошок, С.Н. Скороходов // Сибирский лесной журнал. – 2019. – № 4. – С. 80–88.

139. Ткаченко, М.Е. Общее лесоводство / Е.М. Ткаченко, под ред. И.С. Мелехова. – М.: Гослесбумиздат, 1952. 599 с.

140. Фролов, П.В. Моделирование популяций кустарничков в лесных экосистемах и их вклада в динамику углерода и азота: дис. ... канд. биолог. наук: 03.02.08 / Фролов Павел Владимирович. – Пушкино, 2020. – 141 с.

141. Ханина, Л.Г. Классификация типов лесорастительных условий по индикаторным видам Воробьева-Погребняка: база данных и опыт анализа лесотаксационных данных / Л.Г. Ханина // Вопросы лесной науки. – 2019. – Т.2. № 4. – С.1–30.

142. Цельникер, Ю.Л. Физиологические основы теневыносливости древесных растений / Ю.Л. Цельникер. – М.: Наука. – 1978. – 212 с.

143. Цыганов, Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д.Н. Цыганов – М.: Наука, 1983. – 196 с.
144. Черепанов, С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Русское издание / С.К. Черепанов. – СПб.: Мир и семья. – 1995. – 992с.
145. Черкасов, А.Ф. Восстановление зарослей брусники и черники после сплошных рубок / А.Ф. Черкасов, В.В. Шутов, К.А. Миронов // Лесоведение. – 1988. – № 4. – С. 42–48.
146. Чумаченко, С.И. Моделирование изменений состояния участков лесного фонда крупного арендатора при различных сценариях лесопользования в долгосрочной перспективе С.И. Чумаченко, А. Шорохов (28 апреля 2022 г.) – Электрон. дан. – М.: ЦЭПЛ РАН, 2022. – Режим доступа: http://cepl.rssi.ru/confs/forest_management_2022/wp-content/uploads/2022/08/nouul_2022_chumachenko.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
147. Чумаченко, С.И. Базовая модель динамики многовидового разновозрастного лесного ценоза / С.И. Чумаченко // В науч. тр. МЛТИ: Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. – М.: МЛТИ, 1993. – Вып. 248. – С. 147–180.
148. Чумаченко, С.И. Имитационное моделирование влияния лесохозяйственных воздействий на лесные экосистемы. Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы. А.С. Исаев (отв. ред.) / С.И. Чумаченко, М.М. Паленова, В.Н. Коротков, С.В. Починков // ЦЭПЛ РАН. М. Наука. –2008. – С. 314–328.
149. Чумаченко, С.И. Имитационное моделирование динамики насаждений FORRUS-S - инструмент выбора стратегии и планирования лесного хозяйства / С.И. Чумаченко, М.М. Паленова, С.В. Починков, Е.В. Кухаркина // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2007. – № 5. – С. 143–152.

150. Чумаченко, С.И. Имитационное моделирование многовидовых разновозрастных насаждений. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.16 / Чумаченко Сергей Иванович. – М: МГУЛ, 2006. – 297 с. (б)

151. Чумаченко, С.И. Концепция построения биоэкологических моделей много видовых разновозрастных лесных насаждений для зоны хвойно-широколиственных лесов и южной тайги / С.И. Чумаченко // Лесной вестник. – 2006. – № 2. – С. 7–13. (а)

152. Чумаченко, С.И. Прогноз динамики таксационных показателей лесных насаждений при разных сценариях ведения лесного хозяйства / С.И. Чумаченко, М.М. Паленова, В.Н. Коротков // Восточноевропейские леса: История в голоцене и современность. О.В. Смирнова (ред.). Т. 2. М.: Наука, 2004. – С. 492–506.

153. Чумаченко, С.И. Совершенствование методики определения транспортной составляющей в системе оценки экономической доходности древесных ресурсов / С.И. Чумаченко, И.В. Каракчиева // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. – 2018. – № 3. – С. 72–80.

154. Шабарова, С.И. Ценотические особенности черники и ее роль в повышении устойчивости сосняков Полесья УССР / С.И. Шабарова // Дикорастущие ягодные растения СССР: Тезисы докладов на Всесоюзном совещании. Изучение, заготовка и охрана лесных дикорастущих ягодников. Петрозаводск, 1980. – С. 155–156.

155. Шанин, В.Н. и др. Глобальные изменения климата и баланс углерода в лесных экосистемах бореальной зоны: имитационное моделирование как инструмент прогноза / В.Н. Шанин, А.В. Михайлов, С.С. Быховец, А.С. Комаров // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. – 2010. – №. 6. – С. 719–730.

156. Швиденко, А.З. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко, С. Нильссон, Ю.И. Булуй. – М., 2006. – 803 с.

157. Шевелев, С.Л. К вопросу комплексного использования лесов в Красноярском крае / С.Л. Шевелев и др. // Хвойные бореальные зоны. – 2011. – №3–4. – С. 309–312.

158. Шевелев, С.Л. Основные пищевые и лекарственные растительные ресурсы лесов Средней Сибири / С.Л. Шевелев, В.Н. Невзоров. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2017. – 174 с. – ISBN 978-5-94617-403-9.

159. Шорохов, А.А. Моделирование долгосрочных изменений состояния лесного фонда при различных сценариях лесохозяйственной деятельности и использования лесов (на примере участков аренды «ИКЕА Индастри Тихвин») А.А. Шорохов, С.И. Чумаченко (21 октября 2021 г.) – Электрон. дан. – М.: 4-й FSC-Форум, 2021. – Режим доступа: <https://yandex.ru/video/preview/10341156208736632601>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

160. Экосистемы южного Подмосковья / отв. ред. А.Г. Назаров, Л.В. Заблоцкая. – М.: Наука, 1979. – 263с.

161. Юркина, Е.В. Ресурсный потенциал недревесной продукции леса: Учебное пособие / Е.В. Юркина. – Сыктывкар: СЛИ, 2017. – 240 с.

162. Ярославцев, А.В. Морфологические особенности черники обыкновенной, произрастающей в разных типах лесных фитоценозов южной тайги / А.В. Ярославцев // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. – 2007. – №1. – С. 498–499.

163. Borges, J.G. Scenario Development at Landscape Level Under Different Management Strategies. Deliverable 2.2. FP-7 INTEGRAL project available online under. / J.G. Borges, J. Garcia-Gonzalo, B. Botequim, S. Barreiro, S. Marques, M. Tomé. – 2014. – [Режим доступа: www.integralproject.eu](http://www.integralproject.eu), свободный. – Загл. с экрана. – Яз., англ.

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

165. Chumachenko, S. Long-term forecast of forest ecosystem services under different forest use scenarios / S. Chumachenko, V. Kiseleva, A. Kolycheva, V. Karminov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 012039. – DOI 10.1088/1755-1315/875/1/012039.
166. Chumachenko, S. Modeling of multiple forest use under different management scenarios / S. Chumachenko, V. Kiseleva, A. Kolycheva, E. Mitrofanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2020. - Vol.574. - P. 1–9.
167. Chumachenko, S.I. Imitation modeling of heterogeneous uneven-aged stands spatial dynamics taking into account silvicultural treatment / S.I. Chumachenko, V.V. Syssouev, M.M. Palyonova, M.A. Bredikhin, V.N. Korotkov // IUFRO Conference, Copenhagen, 1996. - P. 484–492.
168. Chumachenko, S.I. Simulation modelling of long-term stand dynamics at different scenarios of forest management for coniferous - broad-leaved forests / S.I. Chumachenko, V.N. Korotkov, M.M. Palenova, D.V. Politov // Ecological Modelling. - 2003. - T. 170. - № 2-3. - P. 345–361.
169. Coudun, C. Quantitative prediction of the distribution and abundance of *Vaccinium myrtillus* with climatic and edaphic factors / C. Coudun, J. Gegout // Journal of Vegetation Science. – 2007. – № 18. – P. 517–524.
170. Ellenberg, H. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht / H. Ellenberg. – 5. Aufl. Ulmer, Stuttgart, 1996. – 1096 p.
171. Ellenberg, H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas / H. Ellenberg. – Göttingen: Goltze, 1974. – 97 p.
172. Elsedig, A. Economic of Wild Fruits and It Is Contribution to Rural People / A Elsedig, M. Abdalbasit // 2019. – 557 p. [https://doi.org 10.1007/978-3-030-31885-7_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31885-7_5).
173. Eyvindson, K. Mitigating forest biodiversity and ecosystem service losses in the era of bio-based economy / K. Eyvindson, A. Repo, M. Mönkkönen // Forest Policy and Economics. – 2018. – T. 92. – P. 119–127.

174. Eyvindson, K. Quantifying and easing conflicting goals between interest groups in natural resource planning / K. Eyvindson, A. Repo, M. Triviño, S. Pynnönen, M. Mönkkönen // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2019. – T. 49. – № 10. – P. 1233–1241.
175. Gamfeldt, L. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species / L. Gamfeldt, T. Snäll, R. Bagchi // *Nature Communications*. – 2013. – № 4(1340). – P. 1–8.
176. Grammatikopoulou, I. The value of forest ecosystem services: A meta-analysis at the European scale and application to national ecosystem accounting / I. Grammatikopoulou, D. Vačkářová // *Ecosystem Services*. – volume 48. – 2021. – 101262, ISSN 2212-0416/ <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101262>.
177. Grivins, M. Benefitting from the global, protecting the local: The nested markets of wild product trade/ M. Grivins, T. Tisenkopfs // *Journal of Rural Studies*. – Volume 61. – 2018, P. 335–342. – ISSN 0743-0167. – <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.01.005>.
178. Hall, I.V. Lowbush blueberry production in eastern Canada as related to certain weather data / I.V. Hall, L.E. Aalders, K.B. McRae // *Canadian Journal of Plant Science*. – 1982. – № 62(3). – P. 809–812.
179. Huber, P. Managing for NWFPs - an assessment on the forest holding level / P. Huber, M. Kurttila, T. Hujala, B. Wolfslehner, H. Vacik // *Wild Forest Products in Europe Barcelona SEP 13-14, Book of Abstracts*. – 2016. – 9 p.
180. Hynynen, J. Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production / J. Hynynen, A. Ahtikoski, J. Siitonen, R. Sievaonen, J. Liski // *Forest Ecology and Management*. – 2005. – № 207. – P. 5–8.
181. Hynynen, J. Impact of plot size on individual tree competition measures for growth and yield simulators / J. Hynynen, R. Ojansuu // *Can. J. For. Res.* – 2003. – №33. – P. 455–465.

182. Ihalainen, M. Empirical prediction models for *Vaccinium myrtillus* and *V. vitis-idaea* berry yields in North Karelia / M. Ihalainen, Salo K., T. Pukkala // *Silva Fennica*. – 2003. – № 37(1). – P. 95–108.
183. Ihalainen, M. Regional expert models for bilberry and cowberry yields in Finland / M. Ihalainen, T. Pukkala, O. Saastamoinen // *Boreal Environment Research*. 2005. – № 10. – P.145–158.
184. Landolt, E. *Okologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora* / E. Landolt // *Veroff. Geobot. Inst. ETH. Zurich*. – 1977. – H.64. – P. 1–208.
185. Miina J. Optimizing the joint production of timber and bilberries / J. Miina, T. Pukkala, J. P. Hotanen, K. Salo // *Forest Ecology and Management*. – 2010. – T. 259. – №. 10. – P. 2065–2071.
186. Miina, J. Modelling Non-timber Forest Products for Forest Management Planning in Europe / J. Miina, M. Kurttila, R. Calama et al. // *Curr Forestry Rep* 6. – 2020. – P. 309–322. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00130-7>
187. Miina, J. Modelling the abundance and temporal variation in the production of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish mineral soil forests / J. Miina, J. P. Hotanen, K. Salo // *Silva Fennica*. – 2009. – Vol. № 43. – 4 article. – id 181. – P. 577–593.
188. Miina, J. Optimal multi-product management of stands producing timber and wild berries / J. Miina, T. Pukkala, M. Kurttila // *European Journal of Forest Research*. – 2016. – T. 135. – P. 781–794.
189. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*. – USA, Washington: Island Press, 2005. – Режим доступа: <http://www.millenniumassessment.org/en/Reports.aspx#>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
190. Kolycheva, A. A. Analysis of the Stocks and Conditions of Harvesting for Forest Berries with Consideration for Their Spatial Distribution / A. A. Kolycheva, S. I. Chumachenko, V. V. Kiseleva, A. Ju. Agol'cov // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2023. – Vol. 16. – No. – 7, pp. 1041–1050. DOI: 10.1134/S1995425523070065

191. Pohjanmies, T. Abundance and diversity of edible wild plants in managed boreal forests / T. Pohjanmies, A. Jašková, J.P. Hotanen, O. Manninen, M. Salemaa, A. Tolvanen, P. Merilä // *Forest Ecology and Management*. – 2021. – № 491. P.119-151.
192. Pukkala, T. A multifunctional comparison of even-aged and uneven-aged forest management in a boreal region / T. Pukkala, E. Lähde, O. Laiho, K. Salo, J.P. Hotanen, // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2011. – T. 41. – №. 4. – P. 851–862.
193. Pukkala, T. Which type of forest management provides most ecosystem services? / T. Pukkala // *Forest Ecosystems*. – 2016. – T. 3. – P. 1–16.
194. Schaphoff, S. Tamm Review: Observed and projected climate change impacts on Russia's forests and its carbon balance / S. Schaphoff, C.P. Reyer, D. Schepaschenko, D.Gerten, A. Shvidenko // *Forest Ecology and Management*. – 2016. – № 361. – P. 432–444.
195. Shanin, V. N. Modelling carbon and nitrogen dynamics in forest ecosystems of Central Russia under different climate change scenarios and forest management regimes / V. N. Shanin, A. S. Komarov, A. V. Mikhailov, S. S. Bykhovets // *Ecological Modelling*. – 2011. – V. 222. – P. 2262–2275.
196. Sheppard, J.P. Sustainable Forest Management Beyond the Timber-Oriented Status Quo: Transitioning to Co-production of Timber and Non-wood Forest Products—a Global Perspective / J.P. Sheppard, J. Chamberlain, D. Agúndez, P. Bhattacharya, P.W. Chirwa, A. Gontcharov, W.G. Sagona, H. Shen, W. Tadesse, S. Mutke // *Current Forestry Reports*. – 2020. – № 6. – P.26–40.
197. Taylor, K.E. An overview of CMIP5 and the experiment design / K.E. Taylor, R.J. Stouffer, G.A. Meehl // *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 2012. – Vol. 93. – №. 4. – P. 485–498.
198. Turtiainen, M. Empirical prediction models for the coverage and yields of cowberry in Finland / M. Turtiainen, J. Miina, K. Salo, J.-P. Hotanen // *Silva Fennica*, 2013. – vol. 47. – 3 article. – id 1005. – 22 p.

199. Turtiainen, M. Evaluation of information on wild berry and mushroom markets in European countries / M. Turtiainen, T. Nuutinen // *Small-scale Forestry*. – 2012. – № 11(1). – P. 131–145.
200. Turtiainen, M. Model-based estimates of regional and national bilberry and lingonberry yields on mineral soils in Finland / M. Turtiainen, K. Salo, O. Saastamoinen // University of Joensuu: Faculty of Forestry. Research Notes. – 2005. – 44 p.
201. Turtiainen, M. Modelling the coverage and annual variation in bilberry yield in Finland. / M. Turtiainen, J. Miina, Salo K., Hotanen J.-P. // *Silva Fennica*. – 2016. – vol. 50. – №. 4. – article id 1573. – 12 p.
202. Turtiainen, M. National and regional estimates of blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and lingonberry (*V. vitis-idaea* L.) yields on peatlands in Finland / M. Turtiainen, K. Salo, O. Saastamoinen // Finnish Peatland Society Helsinki. – 2007. – № 58(3–4). – P. 87–98.
203. Turtiainen, M. Variations of yield and utilisation of bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.) and cowberries (*V. vitis-idaea* L.) in Finland / M. Turtiainen, K. Salo, O. Saastamoinen // *Silva Fennica*. – 2011. – № 45(2). – P. 237–251.
204. Vacik, H. Comparing the potential of on-Wood Forest Products across case studies in Europe / H. Vacik, P. Huber, M. Kurttila, T. Hujala, B. Wolfslehner, M. la Sánchez-González, M. Pasalodos-Tato, S. de Miguel, J.A. Bonet, M. Marques, J.G. Borges, M.C. Enescu, L. Dinca // Conference on Non-Timber Forest Products and Bioeconomy (Rovaniemi, Nov 28 –30, 2017). – 2017. – P. 201–204.
205. Vuuren, D. The representative concentration pathways: an overview / D. Van Vuuren, J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G.C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S.J. Smith, S.K. Rose // *Climatic Change*. – 2011. – Vol. 109. – P. 5–31.
206. Wallenius, T.H. Yield variations of some common wild berries in Finland in 1956–1996 / T.H. Wallenius // *Annales Botanici Fennici*. – 1999. – № 36. – P. 299–314.
207. Wolfslehner, B. Non-wood forest products in Europe: Seeing the forest around the trees - What Science Can Tell Us / B. Wolfslehner, I. Prokofieva, R. Mavsar I. Živojinović // *What Science Can Tell Us*. – 2019. – 117 p.

Приложение А

База данных для прогноза урожайности ягодников равнинных лесов европейской части России для работы в модели FORRUS-S

TIPS_	TLU_	V_	FMIN_	FMAX_	AMIN_	AMAX_	OSVMIN_	OSVMAX_	KGMIN_	KGMAX_	FORMULA_
Б Р У С Н И К А	A2	0	0	10	0	7	90	100	59	90	
	A2	1	4	10	7	999	10	80	0	0	$16,3 \times \ln(X) - 14,3$
	A2	9	4	10	7	999	11	80	0	0	$16,3 \times \ln(X) - 14,3$
	A3	0	0	10	0	7	90	100	73	125	
	A3	1	4	10	7	999	10	80	0	0	$27,1 \times \ln(X) - 49$
	A4	0	0	10	0	7	90	100	73	85	
	A4	1	4	10	7	999	10	80	0	0	$27,1 \times \ln(X) - 49$
	B2	0	4	10	0	10	90	100	90	120	
	B2	0	4	10	11	999	50	80	25	60	
	B3	1	4	10	7	999	10	80	0	0	$-21,7 \times \ln(X) + 9,1$
	B4	0	0	10	0	7	90	100	107	109	
	B4	1	4	10	7	999	10	80	0	0	$-21,7 \times \ln(X) + 9,1$
B4	2	4	10	7	999	10	80	0	0	$-21,7 \times \ln(X) + 9,1$	
Ч Е Р Н И К А	A3	1	4	10	6	999	9	36	0	0	$-0,6 \times X^2 + 24,12 \times X - 85$
	A3	1	4	10	0	6	90	100	90	175	
	A3	2	4	10	55	65	30	50	100	150	
	A3	3	4	10	55	65	30	70	100	150	
	A3	9	4	10	55	65	30	70	100	150	
	A4	1	4	10	6	999	10	35	0	0	$-0,3 \times X^2 + 16,5 \times X - 68,9$
	A4	1	4	10	0	6	90	100	90	175	
	B2	1	4	10	6	999	7	35	0	0	$-0,9 \times X^2 + 41,5 \times X - 296$
	B2	2	4	10	6	999	7	35	0	0	$-0,9 \times X^2 + 41,5 \times X - 296$
B3	1	4	10	6	999	9	36	0	0	$-0,6 \times X^2 + 24,12 \times X - 85$	

TIPS_	TLU_	V_	FMIN_	FMAX_	AMIN_	AMAX_	OSVMIN_	OSVMAX_	KGMIN_	KGMAX_	FORMULA_
	B3	2	4	10	6	999	9	36	0	0	$-0,6 \times X^2 + 24,12 \times X - 85$
	B3	1	4	10	0	6	80	100	90	175	
	B3	2	4	10	0	6	11	20	90	175	
	B4	1	4	10	6	999	10	35	0	0	$-0,3 \times X^2 + 16,5 \times X - 68,9$
	B4	1	4	10	0	6	90	100	90	175	
	C2	0	4	10	0	10	90	100	90	110	
	C3	2	4	10	6	999	9	36	0	0	$-0,6 \times X^2 + 24,12 \times X - 85$
	C3	9	4	10	6	999	9	36	0	0	$-0,6 \times X^2 + 24,12 \times X - 85$
	C3	11	4	10	6	999	9	36	0	0	$-0,6 \times X^2 + 24,12 \times X - 85$
	C3	0	4	10	0	6	30	70	120	160	
МАЛИНА	A2	0	0	10	0	10	90	100	60	91	
	A2	0	4	10	11	999	30	80	30	40	
	A3	1	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,8 \times X + 12,3$
	A3	1	4	10	60	90	40	70	20	50	
	A3	2	4	10	60	90	40	70	20	50	
	A3	3	4	10	60	90	40	70	20	50	
	B3	0	0	10	0	10	90	100	100	112	
	B3	2	4	10	10	999	18	100	0	0	$1,1 \times X + 2,5$
	B3	9	4	10	10	999	18	100	0	0	$1,1 \times X + 2,5$
	B4	2	4	10	10	999	18	100	0	0	$1,1 \times X + 2,5$
	B4	9	4	10	10	999	18	100	0	0	$1,1 \times X + 2,5$
	Д2	0	0	10	0	10	90	100	145	200	
	Д2	1	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 105,55$
	Д2	2	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 105,5$
	Д2	9	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 105,5$
	Д2	11	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 105,5$
	Д3	0	0	10	0	10	90	100	145	200	
Д3	2	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 105,5$	
Д3	9	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 105,5$	

TIPS_	TLU_	V_	FMIN_	FMAX_	AMIN_	AMAX_	OSVMIN_	OSVMAX_	KGMIN_	KGMAX_	FORMULA_
	Д3	11	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 105,5$
	Д4	9	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 105,5$
	Д4	2	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 105,5$
	Д4	0	0	10	0	10	90	100	145	200	
	С3	0	0	10	0	10	90	100	137	190	
	С3	2	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 97,8$
	С3	9	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 97,8$
	С3	11	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 97,8$
	С4	0	0	10	0	10	90	100	140	190	
	С4	2	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 97,8$
	С4	9	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 97,8$
	С4	11	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 97,8$
	С5	9	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 97,8$
	С5	11	4	10	10	999	18	100	0	0	$0,5 \times X + 97,8$
	С5	0	0	10	0	10	90	100	140	190	

Примечание. TIPS - тип ресурса; TLU - тип лесорастительных условий; V- древесная порода (1 – сосна, 2- ель, 3 – береза, 0 – все породы); FMIN- минимальная доля породы в составе; FMAX – максимальная доля породы в составе; AMIN – возраст минимальный; AMAX– возраст максимальный; OSVMIN – освещенность минимальная; OSVMAX – освещенность максимальная; KGMIN – урожайность минимальная; KGMAX – урожайность максимальная; FORMULA – урожайность по формуле; X – относительная освещенность на уровне напочвенного покрова, рассчитанная в модели FORRUS-S, %