

УДК 630*8004*94

ПОТЕНЦИАЛ ЗАГОТОВКИ ЛЕСНЫХ ЯГОД ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНОГО ПРОГНОЗА¹

© 2022 г. А. А. Колычева^а, *, С. И. Чумаченко^б, Д. Н. Тебенькова^а

^аЦентр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,
ул. Профсоюзная, д. 84/32, стр. 14, Москва, 117997 Россия

^бМытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
ул. 1-я Институтская, д. 1, Московская обл., Мытищи, 141005 Россия

*E-mail: anna_dulina@bk.ru

Поступила в редакцию 25.12.2020 г.

После доработки 18.02.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

В статье представлены результаты оценки компромиссов и синергии между обеспечивающими услугами лесов — заготовкой древесины и ягод — для лесов бореальной зоны (Пряжинское лесничество, Республика Карелия) и подзоны хвойно-широколиственных лесов (Данковское участковое лесничество, Московская область). С использованием методов имитационного моделирования спрогнозирована урожайность ягод (черники, брусники, малины) в перспективе на 100 лет. Рассмотрено влияние выборочных и сплошных рубок на продуктивность ягодников. Выявлены наиболее благоприятные для продуктивности ягод типы ведения хозяйства. Согласно полученным оценкам, малина достигает максимума урожайности (124 кг/га) в условиях Данковского лесничества Московской области при сплошных рубках, наибольшая урожайность черники (123 кг/га) получена для Пряжинского лесничества Республики Карелия при выборочных рубках, а брусника там же показывает высокий урожай (66 кг/га) при сплошных рубках.

Ключевые слова: леса, урожайность ягод, черника, брусника, малина, прогноз, рубки.

DOI: 10.31857/S0024114822050023

В настоящее время одними из ведущих глобальных вызовов являются изменение климата и возрастающая потребность в лесных продуктах и услугах, вызванные ростом населения Земли и связанной с этим деградацией лесов, потерей их биоразнообразия и истощением лесных ресурсов (Лукина, 2020а, 2020б). Это приводит к необходимости пересмотра принципов ведения лесного хозяйства. Концепция экосистемных услуг (Millennium ..., 2005) получила развитие в формировании представлений об устойчивом ведении лесного хозяйства, основным индикатором которого становится сохранение баланса между всеми экосистемными услугами. Парадигма мультифункционального лесного хозяйства включает многоцелевое использование лесов и предполагает одновременное использование на одном участке нескольких экосистемных услуг (Manning et al., 2018).

Понятие экосистемных услуг подразумевает выгоды для людей, получаемые от экосистем (Millennium ..., 2005). Выделяют 4 категории экосистемных услуг: а) обеспечивающие (англ. provisioning) — продукция, получаемая от экосистем (пища, пресная вода, древесина, волокна, генетические ресурсы, медикаменты); б) регулирующие (англ. regulating) — выгоды, получаемые от регулирования экосистемными процессами (регулирование изменений климата, природная очистка воды и др.); в) поддерживающие (англ. supporting) — жизнеобеспечивающие услуги, необходимые для поддержания других экосистемных услуг, от которых люди получают прямую экономическую выгоду (сохранение местообитаний для биоты, фотосинтез, почвообразование, и др.); г) культурные (англ. cultural) — выгоды, получаемые от экосистем в виде духовного обогащения, интеллектуального развития, рекреации, эстетических ценностей. Между всеми экосистемными услугами существуют отрицательные (конфликты) и положительные (синергия) взаимосвязи. Конфликт возникает в случаях, когда при возраста-

¹ Работа выполнена в рамках темы госзадания ЦЭПЛ РАН “Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем” (номер государственной регистрации АААА-А18-118052400130-7).

нии использования одной услуги происходит снижение потенциала использования другой услуги. При синергии возрастание использования одной услуги сопровождается увеличением потенциала использования другой (Тебенёва и др., 2019).

Актуальным вопросом лесного хозяйства является поиск путей усиления синергии и разрешения конфликтов между экосистемными услугами. Конфликты могут возникать не только между услугами разных категорий, но и между услугами одной категории. Важной практической задачей является поиск баланса между заготовкой древесины и обеспечением недревесной продукцией леса – ягодами (Курлович и др., 2015; Shepard et al., 2020).

Ягодные кустарнички – черника (*Vaccinium myrtillus* L.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и малина (*Rubus idaeus* L.) (Черепанов, 1995) широко распространены на территории России и наиболее продуктивны в средней и южной тайге и хвойно-широколиственных лесах. В среднетаежной подзоне сосредоточены наибольшие запасы ягод брусники и черники. Средняя урожайность брусники составляет 90 кг/га при диапазоне колебаний от 63 до 340 кг/га. Урожайность черники в среднем составляет 120 кг/га при варьировании от 80 до 500 кг/га (Белоногова, Румянцева, 1985; Петров и др., 2005; Петров, 2019). Урожайность брусники в зоне хвойно-широколиственных лесов Центрального региона РФ оценивается в среднем в 60 кг/га, а зафиксированные значения продуктивности находятся в пределах от 50 до 180 кг/га. Продуктивность черники в этой зоне также варьирует от 80 до 200 кг/га, а средняя урожайность составляет 100 кг/га (Конюхова и др., 2013; Егорова и др., 2019).

Факторами, регулирующими рост и плодоношение ягодников, являются тип лесорастительных условий (ТЛУ), возраст насаждения, преобладающая порода, относительная полнота первого яруса древостоя (Таксационный справочник ..., 2018). Основными формациями лесов, в которых формируются ягодоносные площади, являются сосновые, еловые и березовые. Богатство и увлажненность почв определяют оптимальные экологические условия для произрастания и плодоношения ягодников. От полноты древостоя зависит распределение света и осадков, которые напрямую воздействуют на урожайность ягодников.

Вместе с естественными условиями произрастания на продуктивность ягодников влияют способы ведения лесохозяйственной деятельности. Хозяйственные мероприятия, главным образом рубки, меняют световой, водный и тепловой режимы под пологом, уменьшают корневую конкуренцию растений. При выборочных рубках повышается общая освещенность участка, снижается полнота, появляются окна в древесном пологе,

свет и тепло доходят до травяно-кустарничкового яруса, но через несколько лет окна зарастают древесной растительностью. После сплошных рубок участки становятся открытыми для прямых солнечных лучей. Для рассматриваемых нами видов ягодников реакция на последствия рубок различна.

После выборочных рубок урожайность черники возрастает в 2.5 раза на протяжении первых пяти лет, а затем возвращается в состояние до рубок. На участках, пройденных сплошными рубками, в первые 2–3 года наблюдается постепенная деградация кустарничков с последующим их полным отмиранием. Восстановление плодоносящих черничников происходит только через 40–50 лет (Зворыкина, 1972; Курлович и др., 2015).

Повышение урожайности брусники происходит на участках, где проводились выборочные рубки. В первые 5–7 лет урожайность ягод возрастает в 1.5 раза, а затем стабилизируется на прежнем уровне. При проведении сплошных рубок наблюдается обильное плодоношение брусники на протяжении первых 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 полукустарники формируются на свежих 2–3-летних вырубках. На 3–8-летних вырубках зафиксированы пики урожайности, далее малина заглушается порослью лиственных древесных пород (Казанцева, Мирьяминова, 2017).

Современные представления о механизме влияния рубок на урожайность ягод позволяют спрогнозировать их эффект, но оценки характера взаимосвязей между этими экосистемными услугами в долгосрочной перспективе отсутствуют. Подходящим инструментом для подобного анализа является сценарное математическое моделирование. 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). Модели, позволяющие выполнять оценки урожайности лесных ягодников, уже используются в мировой практике, в частности, в Финляндии созданы модели для прогноза урожайности кустарничков брусники (Ihalainen et al., 2003; Turtiainen et al., 2005, 2013) и черники (Miina et al., 2009; Turtiainen et al., 2016). Однако эти модели работают только в чистых одновидовых насаждениях, что затрудняет их применение на территории европейской части России, где большая часть насаждений представлена многоярусными полидоминантными древостоями с подростом и подлеском. Отечественная модель FORRUS-S при прогнозе урожайности

основных ягодоносных кустарничков лесов России учитывает специфику многовидовых разновозрастных лесных массивов (Чумаченко, 1993; Chumachenko et al., 2003.).

Цель работы – анализ взаимосвязей между таковыми обеспечивающими экосистемными услугами лесов, как заготовка древесины и пищевых недеревесных ресурсов леса – ягод, на основе прогнозных оценок урожайности ягод в лесах средней тайги и хвойно-широколиственных лесах европейской части Российской Федерации при разных сценариях рубок.

Для достижения цели на примере объектов, расположенных в таежных и хвойно-широколиственных лесах, необходимо:

- 1) дать количественную прогнозную оценку урожайности ягодников при естественном развитии лесов и при различных видах рубок лесных насаждений;
- 2) выполнить анализ влияния лесохозяйственной деятельности на урожайность ягодников;
- 3) выявить синергию или конфликты между обеспечением лесными участками древесиной и ягодами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объекты исследования. Для анализа выбраны два района исследований, расположенные в разных лесорастительных зонах европейской части России, чтобы более контрастно проследить за урожайностью ягодников в различных условиях.

Первый объект – Данковское участковое лесничество (Московская область) – является частью лесничества “Русский лес” (далее Данки) и находится в подзоне хвойно-широколиственных лесов. Площадь лесничества – 6 837 га. Состав насаждений представлен в долях 4Б3С2Ос1Е + Д + ЛП + Олч, средний возраст – 62 года, полнота – 0.8. Типы лесорастительных условий на территории лесничества имеют широкий диапазон от А2 до С4. При этом 39% площади лесничества представлено типом С3, по 21% – С2 и В2 и 12% – В3. В настоящий момент территория Данковского лесничества относится к защитным лесам, где проводятся только санитарные рубки, а пищевые ресурсы используются для собственных нужд населения.

Второй объект – части участковых лесничеств Крошнозерское и Святозерское, образующие водосбор р. Маньги (далее Маньга), которые входят в состав Пряжинского лесничества (Республика Карелия). Объект расположен в подзоне средней тайги. Занимает площадь 16 755 га. Состав насаждений 5Б2Е2С1Ос + Олч, средний возраст – 60 лет, полнота – 0.7. Преобладающие ТЛУ – В3 и С3 – занимают 33% и 16% общей площади исследуемого объекта, а остальная территория принад-

лежит разнообразным типам лесорастительных условий от А1 до С4. Большая часть территории относится к эксплуатационным лесам, здесь ведется заготовка пищевых ресурсов местным населением. Также Республика Карелия является одним из наиболее крупных промышленных заготовителей лесных ягод.

Характеристика оптимальных условий для роста и плодоношения лесных ягод

Черника встречается как на участках полукрытых пространств, так и в тенистых лесах. Кустарничек растет преимущественно на увлажненных бедных и относительно бедных почвах, обычно кислых, с незначительным содержанием кальция (Landolt, 1977; Шабарова, 1980; Цыганов, 1983; Ярославцев, 2007). Черника является теневыносливым растением, произрастающим при 10% от полной освещенности, наибольших урожаев достигает при средней сомкнутости полога, прямого солнечного освещения не переносит. Наиболее оптимальными условиями для плодоношения является ТЛУ А3-А4, В3-В4 при полноте древостоя от 0.6 до 0.8 (Телишевский, 1986; Малиновских, 2016).

Брусника дает максимальные урожаи в редкостойных и среднесомкнутых сосняках (Брусника: морфология и анатомия ..., 1986). При высокой сомкнутости крон (от 0.6 до 0.8) образует плотные неплодоносящие заросли (Егошина, 2005). Занимает менее влажные и более освещенные места, чем черника, являясь полутеневым кустарничком, плодоносит при относительной освещенности более 10%. Ягода произрастает на бедных азотом кислых почвах боров и суборей. Обильного плодоношения брусника достигает на участках с ТЛУ А2-А4, В2-В5, с полнотой от 0.3 до 0.4.

Малина часто встречается в подлеске хвойных, широколиственных и мелколиственных лесов. Наиболее благоприятные места для произрастания – лесные опушки, поляны, гари, вырубki и берега рек. Малина требовательна к плодородию почв, произрастает на влажных и сырых почвах, нейтральных или слабокислых, с высоким содержанием гумуса. Наиболее продуктивные ягодники формируются при ТЛУ А3, В3-В4, С3 на открытых местах (Казанцева, Мирьямова 2017).

Сценарии имитационного моделирования. Имитационные сценарии были разработаны на основе методики, предложенной в рамках проекта INTEGRAL (Borges et al., 2014a). Она подразумевает разработку сначала политических сценариев, которые представляют собой описание возможных альтернативных вариантов социально-экономической, политической и экологической ситуации на территории исследования, а затем – соответствующих каждому политическому сценарию

Таблица 1. Сценарии имитационного моделирования

Моделируемые лесохозяйственные мероприятия	Сценарий, объект			
	естественное развитие	сплошные рубки	выборочные рубки	сплошные и выборочные рубки
	Данки, Маньга	Данки	Данки, Маньга	Маньга
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
Лесовосстановление	Естественное зарастание	Лесные культуры сосны и ели на 100% вырубок, агротехнический уход, подготовка почвы	Естественное зарастание	Лесные культуры сосны и ели на 100% вырубок, агротехнический уход, 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		

лесоводственных режимов, параметры которых являются входными данными для модели.

Для Данков было выделено два политических сценария, первый из которых основан на тенденции сокращения покрытой лесом площади в регионе исследования, второй – на увеличении ценности выполнения лесами средообразующих, защитных, санитарно-гигиенических и др. функций (Тебенькова и др., 2018). К каждому политическому сценарию были подобраны лесохозяйственные режимы: проведение сплошных рубок и проведение выборочных рубок на всей территории лесничества соответственно.

Для Маньги также выделено два политических сценария, основанных на необходимости обеспечения древесным сырьем лесоперерабатывающих предприятий региона и тренде перехода лесного хозяйства на многоцелевое использование лесов, которое включает получение выгод от экосистемных услуг, не связанных с заготовкой древесины. Для политических сценариев подобраны соответствующие лесохозяйственные режимы: выполнение сплошных рубок в эксплуатационных лесах и выборочных рубок на остальной территории; выполнение ВР на всей территории моделирования.

Также для каждого объекта в качестве контроля был промоделирован сценарий естественного развития лесных насаждений, исключаящую любую лесохозяйственную деятельность. Параметры лесохозяйственных режимов представлены в табл. 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 в спелых и перестойных лесных насаждениях (Приказ Министерства, 2020а, 2020б). Далее для удобства моделируемые лесохозяйственные режимы будут упоминаться как сценарии.

Методика расчетов урожайности ягод в модели FORRUS-S. Имитационная модель FORRUS-S (FORest of RUSia-Stand) предназначена для прогнозирования динамики таксационных характеристик многовидовых разновозрастных насаждений на площади до нескольких сотен тысяч гектаров, при этом используются справочные базы для 18 видов основных лесообразующих пород деревьев: биометрические характеристики кроны, требовательность к свету, просветы в пологе, коэффициент пропускания света кроной, расстояние разноса семян, порослевая способность, возрастные коэффициенты, таблицы хода роста одновидовых насаждений, потенциальные бонитеты. Шаг моделирования составляет 5 лет (Чумаченко, 1993, 2006; Chumachenko et al., 1996, 2003).

С использованием модели FORRUS-S был спрогнозирован рост и развитие лесных насаждений на 100 лет. Входными данными для моделирования являются таксационные базы данных, полученные в процессе лесоустройства. Продуктивность ягод черники, брусники и малины на территориях модельных объектов рассчитана в разработанном дополнительно блоке “Пищевые ресурсы”.

Исходя из начального состояния древостоя и особенностей древесных пород, были спрогнозированы рост и развитие лесных ягодных кустарничков (Колычева, Чумаченко, 2021). Основой для определения урожайности и возможности

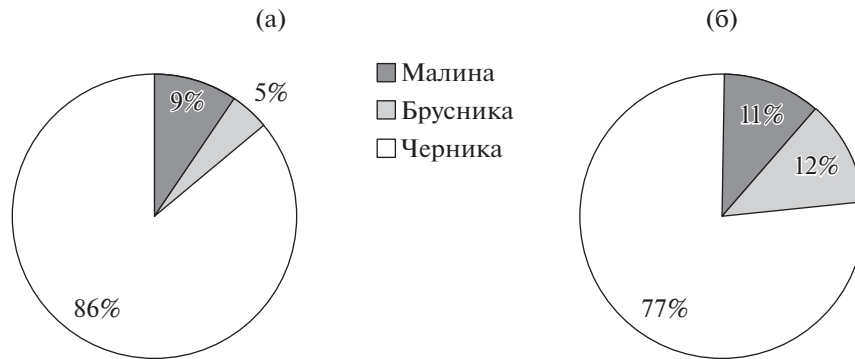


Рис. 1. Распределение общего запаса ягод на площади объектов Данковского лесничества (а) и водосбора р. Маньги (б).

произрастания видов послужил “Таксационный справочник по лесным ресурсам России (за исключением древесины)” (Таксационный справочник ..., 2018), а также показатель освещенности, рассчитанный в модели FORRUS-S. Освещенность является одним из основных предикторов продуктивности лесных ягод в многовидовых насаждениях, а также в насаждениях с подростом и подлеском (Дулина, Чумаченко, 2018).

Были проанализированы оптимальные условия, при которых ягодники обладают производственной (промысловой) продуктивностью, являющейся частью общего (биологического) запаса, которую можно изымать без ущерба для дальнейшего воспроизводства ресурса. К производственной продуктивности были отнесены участки, где значения среднемноголетней урожайности ягодников составляют более 50 кг/га (Методика подбора ..., 1986).

Использование справочника вместе с данными освещенности предполагает, что при определенном комплексе факторов: ТЛУ, возрасте, породе – можно спрогнозировать урожайность ягодников на лесном участке. Расчет производится по уравнениям, где урожайность является зависимой переменной от освещенности на уровне напочвенного покрова (Колычева, Чумаченко, 2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка урожайности ягодников при естественном развитии лесных насаждений

Сценарий естественного развития предназначен для выявления природных закономерностей развития древостоя и оценки урожайности ягодников в естественных условиях произрастания. По результатам моделирования определено соотношение долей ягодных кустарничков на территории рассматриваемых объектов. Преобладающим ягодным ресурсом в Данковском лесничестве является черника, которая на 86% площади доминирует в травяно-кустарничковом ярусе, эпизодично

встречается малина – 9%, в единичных выделах произрастает брусника (рис. 1а). Такое распределение связано с природными характеристиками объекта: средневозрастные и 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; Телишевский, 1986; Лузан, 2015).

Леса объекта Маньга также имеют в своем составе большую долю средневозрастных высокополнотных насаждений, поэтому доминирующим ягодным кустарничком является черника – 77%. Однако расположение водосбора р. Маньги в подзоне средней тайги предполагает более разреженную структуру древостоя, вследствие чего доля площадей участков с более требовательными к свету брусничкой и малиной больше, чем в первом объекте (рис. 1б).

По результатам моделирования естественной динамики насаждения получены оценки потенциальной урожайности ягодоносных выделов на 100 лет (учитываются только выделы, имеющие производственную продуктивность) (рис. 2а, 2б). Полученные оценки продуктивности сравнивались с урожайностью, предполагаемой для подобных условий по Таксационному справочнику (Таксационный справочник ..., 2018).

По данным модельного прогноза в Данках средняя урожайность черники за весь период моделирования варьирует от 45 до 63 кг/га, что является заниженными показателями, 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 в Данках от 22 до 98 кг/га. В начальный период кустарничек имеет показатели урожайности ягод, близкие к табличным, но не

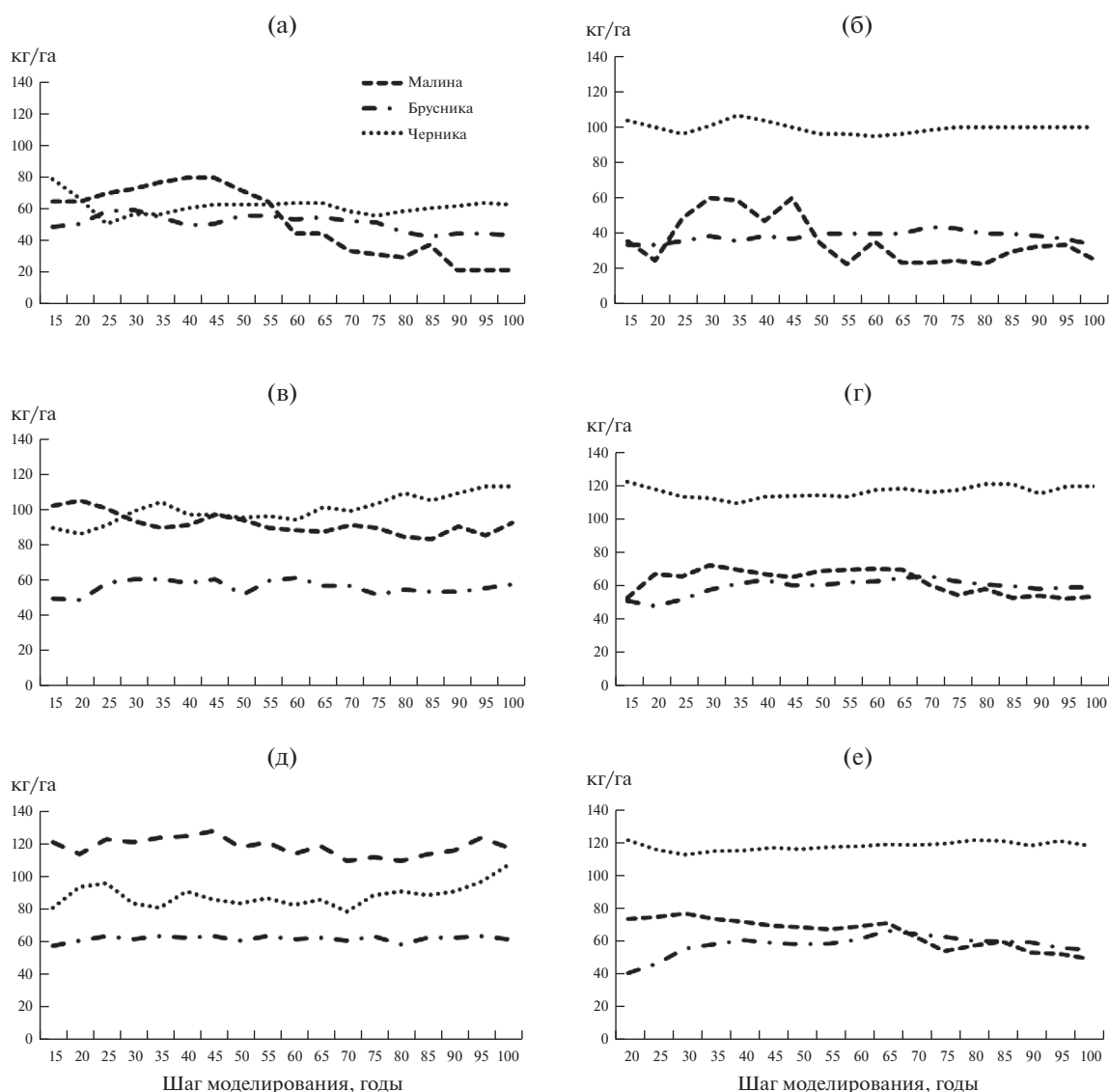


Рис. 2. Продуктивность ягодников при естественном развитии древостоя в Данковском лесничестве (а) и на территории водосбора р. Маньги (б); при выборочных рубках в Данковском лесничестве (в) и на территории водосбора р. Маньги (г); при сплошных рубках в Данковском лесничестве (д); при сплошных и выборочных рубках на территории водосбора р. Маньги (е).

достигающие максимума для данных условий — 110 кг/га. Через 45 лет продуктивность малины 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%.

По справочным данным, показатели урожайности брусники в аналогичных общим лесорастительным условиям объекта Данки составляют в среднем 32 кг/га. Модельные оценки урожайно-

сти более высокие и варьируют от 40 до 60 кг/га. Таким образом, бруснику нельзя анализировать по обобщенным лесорастительным условиям объекта Данки, так как этот вид занимает ТЛУ А2, в которых его конкуренция с другими кустарничкам минимальна, что и определяет максимальные урожаи. Однако ТЛУ А2 представлен в Данках в небольшом количестве.

На объекте Маньга имитационные оценки показали наиболее высокую урожайность для черники — 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, чем черники—35—45 кг/га, при этом по Таксационному справочнику урожайность этого вида в аналогичных условиях — 44 кг/га. Близость показателей говорит о том, что общие лесорастительные условия объекта описывают большинство площадей брусничников на водосборе р. Маньги.

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

Оценка урожайности ягодников при проведении рубок. По результатам моделирования при разных сценариях ведения хозяйства в Данковском лесничестве динамика продуктивности ягодников значительно различается (рис. 2в). При проведении выборочных рубок возрастает урожайность черники и малины, на продуктивность брусники рубки практически не влияют, так как площади, занимаемые ею, небольшие и в меньшем количестве попадают в рубку. Урожайность малины стабилизируется и по сравнению со сценарием естественного развития показывает высокую продуктивность, которая варьирует в пределах 85—108 кг/га в течение всего периода моделирования. Повышение продуктивности малины объясняется появлением открытых участков после рубок, так как основная масса полукустарников выходит из не плодоносящего состояния, в котором они находились из-за недостатка света. Черника при выборочных рубках достигает максимально возможной для имеющихся природных условий урожайности 90—118 кг/га, так как полнота древостоя 0,6, которая достигается выборочными рубками, создает благоприятные условия для плодоношения кустарничков (Обыденников и др., 2002; Малиновских, 2016, 2017).

Сплошные рубки оказывают наибольшее влияние на светолюбивые виды: малину и бруснику (рис. 2г). Ягодники повышают продуктивность при сплошных рубках из-за появления хорошо освещенных мест. Брусника не достигает максимальной урожайности, поскольку в зоне хвойно-широколиственных лесов этот кустарничек не дает высоких урожаев ягод. Малина при проведении сплошных рубок достигает максимальной урожайности. К благоприятному для продуктивности ягодника ТЛУ С3 прибавляется появление открытых мест, которые определяют получение производственной продуктивности. Богатые почвы 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 черничник.

На территории объекта Маньга в результате выборочных рубок возрастает урожайность всех ягодников, по сравнению с естественным развитием (рис. 2д). При естественном развитии на объекте произрастают высокоурожайные черничники, а выборочные рубки дополнительно увеличивают освещенность, в результате чего продуктивность ягодника достигает максимальных 110—123 кг/га. Урожайность брусники также возрастает в связи с улучшением условий освещенности и колеблется в пределах от 48 до 66 кг/га. Выборочные рубки, по сравнению со сценарием естественного развития лесов, способствуют увеличению производительности малинников в 1,5—2 раза (до уровня 51—73 кг/га).

Схожее влияние на продуктивность ягодников оказывает и комплекс сплошных и выборочных рубок (рис. 2е). Урожайность черники находится на стабильно высоком уровне. Это свидетельствует о том, что местоположение и начальные природные характеристики объекта оптимальны для ее произрастания, а рубками можно поддерживать более высокий уровень. 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 Маньга благоприятны для брусники. Сочетание сплошных и выборочных рубок в комплексе с подходящими для произрастания и плодоношения природными условиями позволяет получить наибольшие для данного объекта урожаи малины — в диапазоне от 54 до 77 кг/га, что является высоким показателем, так как в естественных условиях данного объекта урожаи малины невысоки.

Сравнительная оценка урожайности в смешанных хвойно-широколиственных лесах и лесах средней тайги. Производственный потенциал рассматриваемых нами объектов значительно различается. При естественном развитии в среднем ягодоносная площадь в Данках занимает примерно 10% от общей площади, на объекте водосбора Маньги ягодоносная площадь значительно больше — в среднем 50% всей территории. На начальных этапах моделирования в подзоне хвойно-широколиственных лесов наибольшей урожайностью обладает малина. В бореальной зоне

изначально доминирующим кустарничком является черника, что обусловлено преобладающими ТЛУ (Ханина, 2019). В процессе развития древостоя в Данках происходит загущение подлеска, вследствие чего травяно-кустарничковый ярус занимает теневыносливая черника. На Маньге, наоборот, полог леса более разреженный, густого подлеска нет, поэтому, кроме устойчивой к затенению черники, эпизодически встречаются светолюбивые брусника и малина.

На проведение выборочных рубок оба объекта реагируют повышением урожайности всех ягод, при этом возрастает их ягодоносная площадь: в Данках – до 13% от всей территории, на Маньге – до 53%. Преобладающим кустарничком в течение всего периода моделирования на первом объекте становится черника за счет появления возможности доступа света к нижним ярусам. Также повышается и урожайность малины по сравнению со сценарием естественного развития. На объекте Маньга более высокие урожаи также наблюдаются у преобладающей во всех сценариях черники. При этом наиболее продуктивна черника на втором объекте, где ее урожайность превышает показатели для Данков на 20 кг/га. Урожайность малины, наоборот, на первом объекте превосходит урожайность этого вида на Маньге в среднем на 25 кг/га. Брусника на обоих объектах обладает сходной продуктивностью, но в Данках брусничники занимают всего несколько выделов, а на Маньге – 15–20% площади объекта, это участки с промышленной продуктивностью брусники.

Сплошные рубки оказывают противоположное влияние. В Данках ягодоносная площадь увеличивается до 16%, а на Маньге, наоборот, падает до 39% от площади водосбора. По результатам моделирования и анализу исходных таксационных описаний объектов увеличение ягодоносной площади в Данках происходит за счет появления открытых пространств, так как изначально полог был очень загущен и ягодам не хватало освещенности для производственной продуктивности. На Маньге полог более разрежен и при проведении рубок ягодоносные черничники угнетаются, так как черника предпочитает участки со средней освещенностью. При сравнении продуктивности ягодников для рассматриваемых объектов обнаруживается, что при сплошных рубках на обоих объектах увеличивается урожайность малины, но на первом объекте ее продуктивность возрастает на 40 кг/га, что свидетельствует об оптимальных для нее условиях. Черника так же, как и в других сценариях, наиболее продуктивна на втором объекте, в среднем на 20 кг/га. Ситуация в брусничниках аналогична выборочным рубкам.

Воздействие лесохозяйственных мероприятий на продуктивность ягод по данным моделирования сильнее проявляется на первом объекте. Здесь уро-

жайность ягодников при рубках возрастает больше по сравнению со вторым объектом. Это связано с начальными характеристиками участков. В Данках ягодный кустарничковый ярус развит хуже, так как в условиях хвойно-широколиственных лесов произрастают более конкурентные виды, а также имеется мощный подрост, перекрывающий поступление света на уровень напочвенного покрова. Рубки способствуют поступлению света и, как следствие, повышают продуктивность ягодников. В лесах на объекте Маньга начальные условия благоприятны для плодоношения рассматриваемых видов, поэтому влияние рубок на продуктивность ягодников менее заметно.

Синергия и конфликты между обеспечением древесиной и ягодами. Перспективу совмещения заготовки древесины и ягод на одной территории можно проанализировать по динамике объемов заготовки древесины и урожая ягод на объектах моделирования. Для анализа были взяты показатели возможных объемов за год, характеризующие на первом объекте лесничество целиком, а на втором объекте – зоны различных способов ведения хозяйства – защитные и эксплуатационные леса. Объемы приведены к площади покрытой лесом территории всего объекта (Данки) или зоны ведения хозяйства (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 объектов, различных по структуре и площадям.

В Данках (рис. 3а) при ведении заготовок исключительно выборочными рубками на стабильно высоком уровне 18–21 кг га⁻¹ год⁻¹ держится урожайность черники, 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 ее производственной продуктивности.

При сплошных рубках (рис. 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 урожаи ягодников из-за сокращения площади ягодоносных участков, а понижение, наоборот, восстанавливает высокие урожаи, что свидетельствует о сложности совмещения двух видов пользования, поскольку между экосистемными услугами наблюдается конфликт.

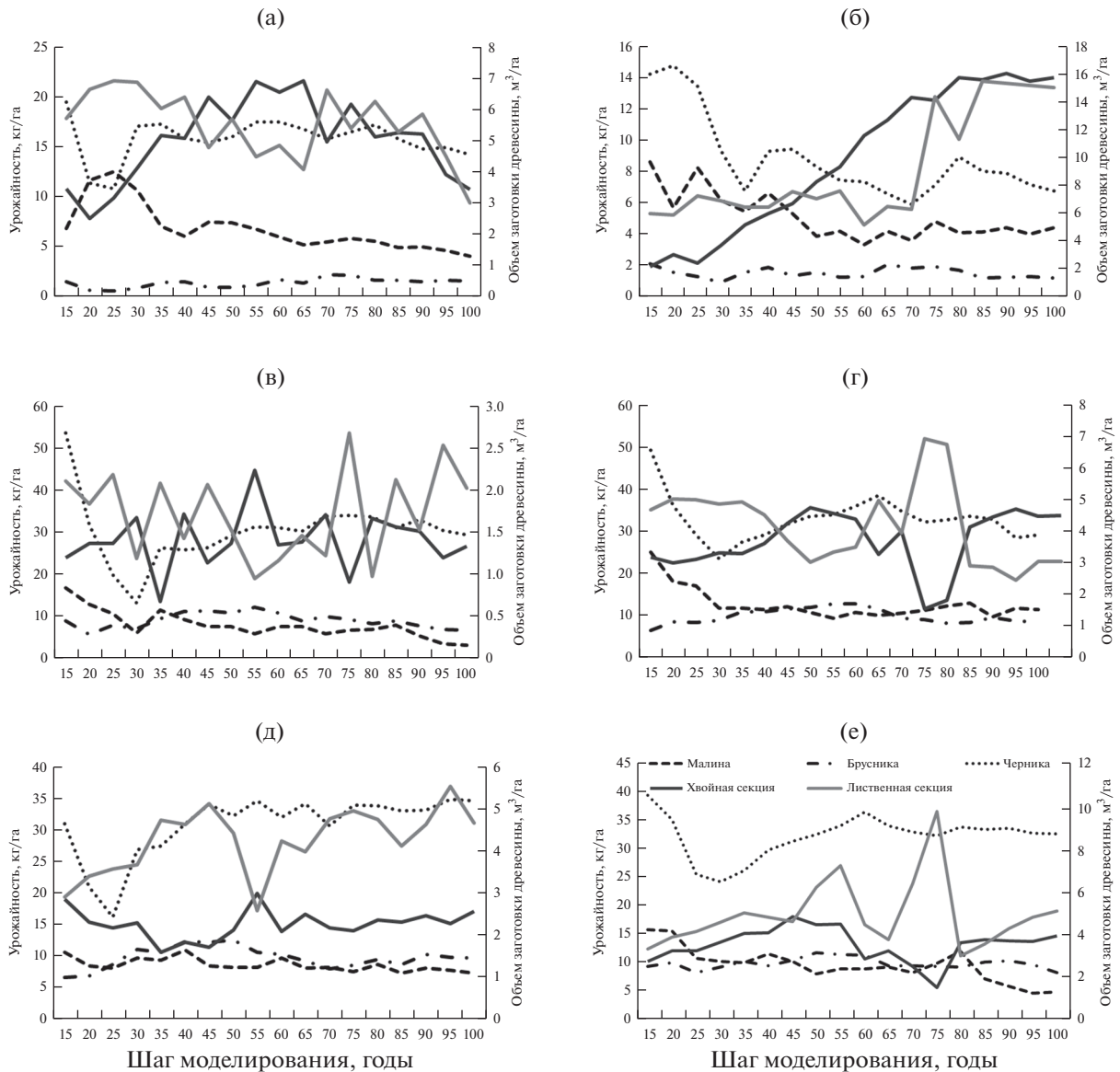


Рис. 3. Динамика заготовки древесины и урожая ягодников в Данковском лесничестве при выборочных (а) и сплошных (б) рубках, на объекте Маньга при выборочных рубках на защитных (в) и эксплуатационных (г) участках, и сплошных и выборочных рубках на защитных (д) и эксплуатационных (е) участках.

В Маньге выборочные рубки с увеличением объемов заготовки повышают урожай ягод (рис. 3в, 3г) и в защитных, и в эксплуатационных зонах. Наблюдается синхронное повышение ежегодной продуктивности черники, что свидетельствует об 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.

При комплексе сплошных и выборочных рубок на втором объекте в зоне защитных лесов, где

проводятся выборочные рубки (рис. 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-х гг. моделирования наблюдается снижение урожайности брусники и малины.

По выявленным трендам установлены предельные объемы ежегодной заготовки древесины, рассчитанные на всю площадь объекта в Данках 6–8 м³ га⁻¹ год⁻¹, и на защитных и эксплуатационных зонах в Маньге 4–6 м³ га⁻¹ год⁻¹, при которых не снижается ежегодная продуктивность ягодников.

Таблица 2. Фрагмент базы данных зависимости урожайности от освещенности

Ресурс	Категория земель	Порода	Возраст, лет	ТЛУ	Полнота	Освещенность, %	Урожайность, кг/га
Малина	Древостой	Сосна	60	А2	0.4	26.9	30
Брусника	Древостой	Сосна	60	А2	0.4	26.9	40
Черника	Древостой	Сосна	60	А3	0.6	17.2	150

Таблица 3. Регрессионные зависимости урожайности ягодников от среднегодовых объемов заготовки древесины

Сценарий	Зоны	Черника	Брусника	Малина
Объект Данки				
Выборочные рубки	Защитные	ВН	ВН	$R^2 = 0.379$ $Y = 7.24 - 0.783X_1 + 0.67X_2$
Сплошные рубки	Защитные	$R^2 = 0.545$ $Y = 12.4 - 0.42X_1 + 0.06X_2$	ВН	$R^2 = 0.678$ $Y = 7.2 - 0.28X_1 + 0.06X_2$
Объект Маньга				
Выборочные рубки	Защитные	ВН	ВН	ВН
	Эксплуатационные	ВН	$R^2 = 0.633$ $Y = -34.34 + 6.8X_1 + 4.5X_2$	ВН
Выборочные и сплошные рубки	Защитные	$R^2 = 0.472$ $Y = -16.78 + 10.590X_1 + 5.49X_2$	ВН	$R^2 = 0.375$ $Y = 50.8 - 10.56X_1 - 4X_2$
	Эксплуатационные	ВН	$R^2 = 0.490$ $Y = 5.8 + 0.9X_1 + 0.19X_2$	ВН

Примечание. X_1 – ежегодный объем заготовки по хвойному хозяйству на площади хвойных насаждений ($m^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$); X_2 – ежегодный объем заготовки по лиственному хозяйству на всей площади лиственных насаждений ($m^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$); ВН – Влияние не выявлено.

Методом регрессионного анализа рассчитаны зависимости между рассматриваемыми характеристиками, при этом ежегодные объемы заготовки разделены по хозяйствам. В табл. 3 представлены уравнения и коэффициенты детерминации R^2 , значения X представлены двумя показателями – объемом пользования хвойным X_1 и лиственным X_2 хозяйством.

Выявлены сценарии, в которых проявляется зависимость урожайности ягод от объемов заготовки. При выборочных рубках в Данках наблюдается статистически значимая зависимость ежегодной урожайности малины от объемов заготовки, вырубка 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 благопри-

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

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 сплошных и выборочных рубок на эксплуатационных землях также наблюдается умеренное влияние объема заготовки древесины на продуктивность брусники. А на защитных землях с проведением выборочных рубок умеренное влияние зафиксировано с продуктивностью брусники и черники, при этом знаки коэффициентов X противоположны. Таким образом, для 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 рассмотрено влияние не всего ком-

плекса факторов, воздействующего на урожайность (ТЛУ, возраст и т.д.). При этом высоких отрицательных воздействий тоже не обнаружено. Следовательно, эти два вида использования лесов могут быть совмещены на одном участке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы позволили провести анализ взаимосвязей между двумя обеспечивающими экосистемными услугами лесов — заготовкой древесины и лесных ягод. На основе модельного прогноза выполнена оценка урожайности черники, брусники, малины в среднетаежной подзоне и подзоне хвойно-широколиственных лесов. При естественном развитии лесов 50% территории объекта Маньга в средней тайге занимают ягодоносные участки, представленные преимущественно черничниками, урожайность которых составляет 92–103 кг/га. В подзоне хвойно-широколиственных лесов объекта Данки ягодоносные площади занимают всего 13%, в первые 50 лет моделирования по показателям продуктивности 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.

Наиболее благоприятное влияние на продуктивность ягодников оказывают выборочные рубки в Данках. Проведение сплошных рубок также повышает урожайность ягодников относительно сценария естественного развития лесов. На втором объекте выборочные рубки оказывают меньшее влияние на повышение продуктивности, так как изначально продуктивность там высокая. Сценарий с комплексным применением сплошных и выборочных рубок оказывает негативное действие на Маньге, снижая ягодоносную площадь объекта.

Выявлено, что возможно совмещение двух видов использования лесов: заготовки древесины и сбора лесных ягод. При этом необходимо учитывать исходные данные объектов. Выборочные рубки увеличивают урожайность ягодников в обоих объектах (синергия), тогда как комплекс сплошных и выборочных рубок в Данках ведет к снижению урожая, а на Маньге — к сокращению площади ягодоносных выделов (конфликт). Определен оптимальный ежегодный объем рубок на всей территории, который не ведет к деградации ягодников, в Данках — 6–8 м³ га⁻¹ год⁻¹, в Маньге — 4–6 м³ га⁻¹ год⁻¹. В сценариях, где влияние объемов заготовки древесины на продуктивность ягод не выявлено, негативных последствий также не обнаружено.

В дальнейшем планируется произвести более детальный анализ для выявления связи между изменением показателей насаждений (состав, струк-

тура, возраст древостоя) в результате рубок и урожайностью ягодников в первые 30–50 лет после рубки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белоногова Т.В.* Биологическая продуктивность нижних ярусов растительности сосновых фитоценозов южной Карелии: автореферат дис. ... канд. биол. н.: 03.00.05. Петрозаводск, 1973. 24 с.
- Белоногова Т.В., Румянцева Л.Г.* Формирование урожая черники и брусники в лесах южной Карелии. // В сб.: Система лесохозяйственных мероприятий в сосновых лесах Карелии. Петрозаводск, 1985. С. 128–137.
- Брусника: морфология и анатомия. Фитоценотическая приуроченность. Урожайность. Хранение и переработка. Химический состав ягод.* / Юдина В.Ф., Белоногова Т.В., Колупаева К.Г. и др. М.: Лесная промышленность, 1986. 80 с.
- Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники: методические разработки для студентов биологических специальностей. Ч. I / Под ред. О.В. Смирновой. М.: Изд-во "Прометей" МГПУ им. В.И. Ленина, 1989. 102 с.
- Дулина А.А., Чумаченко С.И.* Обзор моделей оценки пищевых ресурсов лесов центральной части России // Вопросы лесной науки. 2018. Т. 1. № 1. С. 1–22. <https://doi.org/10.31509/2658-607X-2018-1-1-1-22>
- Егорова Н.Ю., Егошина Т.Л., Ярославцев А.В., Шлыкова Д.А., Оботнин С.И.* Динамика урожайности плодов *Vaccinium myrtillus* L. в ельниках северо-востока европейской России // Сохранение лесных экосистем: проблемы и пути их решения: материалы II Международной научно-практической конференции (г. Киров, 27–31 мая 2019 г.). Киров: ВятГУ, 2019. С. 264–267.
- Егошина Т.Л.* Недревесные растительные ресурсы России и их использование // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2005. № 4. С. 104–111.
- Залесов С.В., Панин И.А.* Ресурсы ягодных кустарничков в ельнике мшистом североуральской среднегорной лесорастительной провинции. Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2017. Т. 21. № 1. С. 21–27.
- Зворыкина К.В.* Влияние вырубki на урожайность черники. Киров: Всесоюзный научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства, 1972. С. 17–19.
- Казанцева М.Н., Мирямина Л.Р.* Плодоношение малины обыкновенной (*Rubus idaeus* L.) в лесах на юге Тюменской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2017. № 47. С. 1–4.
- Кислицына А.В., Егошина Т.Л.* Основные ресурсные и популяционные параметры *Vaccinium myrtillus* L. в южнотаежных лесных экосистемах Кировской области // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 3(31). С. 77–86.
- Колычева А.А., Чумаченко С.И.* Оценка урожайности лесных ягод с учетом уровня освещенности напочвенного покрова методами имитационного моделирования // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. № 3. С. 87–113. <https://doi.org/10.31509/2658-607x-202143-90>
- Конюхова О.М., Масленникова К.А., Канарский А.В.* Взаимосвязь урожайности черники обыкновенной с фи-

- тобиоценозом // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 22. С. 222–224.
- Курлович Л.Е., Панков В.Б., Кивилева И.М. Влияние лесохозяйственной деятельности на состояние и продуктивность пищевых и лекарственных растений // Лесохозяйственная информация. 2015. № 2. С. 24–34.
- Лузан А.А. Оценка влияния относительной полноты древостоя на урожайность *Vaccinium myrtillus* L. в верхнем течении р. Ия (Иркутская область). Вестник ИРГСХА. 2015. № 68. С. 44–49.
- Лукина Н.В. Леса в современном мире // Земля и Вселенная. 2020а. № 6. С. 18–26.
<https://doi.org/10.7868/S004439482006002X>
- Лукина Н.В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы // Вестник РАН. 2020б. Т. 90. № 6. С. 528–532.
- Малиновских А.А. Влияние уровня освещенности под пологом леса на урожайность черники в условиях Средне-обского бора Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. Т. 6. № 152. С. 87–92.
- Малиновских А.А. Влияние уровня освещенности под пологом леса на урожайность брусники в условиях Средне-обского бора Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 4(138). С. 105–109.
- Методика подбора земельных участков Государственного лесного фонда для промысловой заготовки клюквы, брусники, черники, голубики. М.: Гослесхоз СССР, 1986. 12 с.
- Обыденников В.И., Авдеев А.Н., Авдеев Э.Н. Использование и воспроизводство ресурсов ягодников в связи с рубками в сельских лесах Новгородской области // Лесохозяйственная информация. 2002. № 10. С. 15–21.
- Онтогенетический атлас лекарственных растений: учебное пособие. Т. 7 / Под ред. Л.А. Жуковой. Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. 364 с.
- Петров Н.В. Сравнительная оценка запасов ягод *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea* (Ericaceae) в коренных и производных типах леса среднетаежных ландшафтов Карелии // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. № 1. С. 23–35.
- Петров Н.В., Волков А.Д., Громцев А.Н., Курхинен Ю.П., Коломыцев В.А., Иванов В.Ф., Туюнен А.В., Литинский П.Ю. Биоресурсный потенциал географических ландшафтов северо-запада таежной зоны России (на примере Республики Карелия): Монография. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2005. 188 с.
- 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).
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.07.2020 № 534 “Об утверждении Правил ухода за лесами” (зарегистрирован 18.12.2020 № 61555).
- Таксационный справочник по лесным ресурсам России (за исключением древесины) / Л.Е. Курлович, В.Н. Косицын. Пушкино: ВНИИЛМ, 2018. 281 с.
- Тебенькова Д.Н., Лукина Н.В., Чумаченко С.И., Данилова М.А., Кузнецова А.И., Горнов А.В., Шевченко Н.Е., Катаев А.Д., Гагарин Ю.Н. Мультифункциональность и биоразнообразие лесных экосистем // Лесоведение. 2019. № 5. С. 341–356.
- Тебенькова Д.Н., Лукина Н.В., Катаев А.Д., Гагарин Ю.Н., Кузнецова А.И., Орлова М.А. Сценарный подход к моделированию развития лесных участков // Научные основы устойчивого управления лесами: материалы Всероссийской научной конференции. М.: ЦЭПЛ РАН, 2018. С. 173–175.
- Телишевский Д.А. Комплексное использование недревесной продукции леса. 2-е изд. М.: Лесная промышленность. 1986. 261 с.
- Ханина Л.Г. Классификация типов лесорастительных условий по индикаторным видам Воробьева-Погребняка: база данных и опыт анализа лесотаксационных данных // Вопросы лесной науки. 2019. Т. 2. № 4. С. 1–30.
- Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 196 с.
- Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
- Черкасов А.Ф., Шутов В.В., Миронов К.А. Восстановление зарослей брусники и черники после сплошных рубок // Лесоведение. 1988. № 4. С. 42–48.
- Чумаченко С.И. Базовая модель динамики многовидового разновозрастного лесного ценоза // Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. М.: МЛТИ, 1993. С. 147–180.
- Чумаченко С.И. Имитационное моделирование многовидовых разновозрастных лесных насаждений: дис. ... д-ра биол. н.: 03.00.16. М.: МГУЛ, 2006. 287 с.
- Шабарова С.И. Ценотические особенности черники и ее роль в повышении устойчивости сосняков Полясья УССР // Дикорастущие ягодные растения СССР: Тезисы докладов на Всесоюзном совещании. Изучение, заготовка и охрана лесных дикорастущих ягодников. Петрозаводск, 1980. С. 155–156.
- Ярославцев А.В. Морфологические особенности черники обыкновенной, произрастающей в разных типах лесных фитоценозов южной тайги // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. 2007. № 1. С. 498–499.
- Borges J.G., Garcia-Gonzalo J., Botequim B., Barreiro S., Marques S., Tomé M. Scenario Development at Landscape Level Under Different Management Strategies. Deliverable 2.2. FP-7 INTEGRAL project available online under. 2014a. www.integralproject.eu
- Chumachenko S.I., Korotkov V.N., Palenova M.M., Politov D.V. Simulation modelling of long-term stand dynamics at different scenarios of forest management for coniferous – broad-leaved forests // Ecological Modelling. 2003. V. 170. № 2–3. P. 345–361.
- Chumachenko S.I., Syssouev V.V., Palyonova M.M., Bredikhin M.A., Korotkov V.N. Imitation modeling of heterogeneous uneven-aged stands spatial dynamics taking into account silvicultural treatment. IUFRO Conference, Copenhagen, 1996. P. 484–492.
- Ihalainen M., Salo K., Pukkala T. Empirical prediction models for *Vaccinium myrtillus* and *V. vitis-idaea* berry yields in North Karelia // Silva Fennica. 2003. V. 37. № 1. P. 95–108.

Landolt E. *Okologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora // Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel, Zurich, 1977. V. 64. 208 p.*

Manning P., Plas F., Soliveres S., Allan E., Maestre F.T., Mace G., Whittingham M.J., Fischer M. *Redefining ecosystem multifunctionality // Nature Ecology and Evolution. 2018. V. 2. № 3. P. 427–436.*

Miina J., Hotanen J.-P., Salo K. *Modelling the abundance and temporal variation in the production of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish mineral soil forests // Silva Fennica. 2009. V. 43. P. 577–593.*

Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis. USA, Washington: Island Press, 2005. (URL: <http://www.millenniumassessment.org/en/Reports.aspx#>)*

Sheppard J.P., Chamberlain J., Agúndez D., Bhattacharya P., Chirwa P.W., Gontcharov A., Sagona W.G., Shen H., Tadesse W., Mutke S. *Sustainable Forest Management Beyond the Timber-Oriented Status Quo: Transitioning to Co-production of Timber and Non-wood Forest Products – a Global Perspective // Current Forestry Reports. 2020. V. 6. № 1. P. 26–40.*

Turtiainen M., Miina J., Salo K., Hotanen J.-P. *Empirical prediction models for the coverage and yields of cowberry in Finland // Silva Fennica. 2013. V. 47. № 3. P. 22.*

Turtiainen M., Miina J., Salo K., Hotanen J.-P. *Modelling the coverage and annual variation in bilberry yield in Finland // Silva Fennica. 2016. V. 50. № 4. P. 12.*

Turtiainen M., Salo K., Saastamoinen O. *Model-based estimates of regional and national bilberry and lingonberry yields on mineral soils in Finland // University of Joensuu: Faculty of Forestry. Research Notes. 2005. 44 p.*

Forest Berries Harvesting Potential under Different Forest Management Approaches According to a Simulation

A. A. Kolycheva^{1, *}, S. I. Chumachenko², and D. N. Tebenkova¹

¹Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS, Profsoyuznaya st., 84/32, bldg. 14, Moscow, 117997 Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi branch, 1st Institutskaya st., 1, Mytishchi, Moscow Oblast, 141005 Russia

*E-mail: anna_dulina@bk.ru

The article presents the results of a trade-offs and synergy assessment between two providing ecosystem services – timber and berry harvesting – for the boreal zone forests (Pryazhinskoye forestry, Republic of Karelia) and the coniferous-deciduous subzone forests (Dankovskoye forestry, Moscow region). Using simulation methods, the yield of berries (blueberries, cowberries, raspberries) was predicted for the following 100 years. The selective and clear cuts' influence on berries productivity was considered. The most favourable types of management for enhancing the berries' productivity have been identified. According to the estimates obtained, raspberry reaches its maximum yield (124 kg/ha) in the conditions of the Dankovskoye forestry of the Moscow region under the clear-cutting regime, the highest yield of blueberries (123 kg/ha) was obtained for the Pryazhinsky forestry of the Republic of Karelia under the selective felling regime, while cowberries in this region show higher yield (66 kg/ha) with clear cuttings in place.

Keywords: forests, berries yield, blueberry, cowberry, raspberry, simulation, cuttings.

Acknowledgements. The study has been carried out within the framework of the State contract with CEPF RAS “Methodical approaches to estimating the structural organisation and functioning of forest ecosystems” (No. AAAA-A18-118052400130-7).

REFERENCES

Belonogova T.V., *Biologicheskaya produktivnost' nizhnikh yarusov rastitel'nosti osnovnykh fitotsenozov yuzhnoi Karelii. Avtoreferat diss. kand. biol. n. (Biological productivity of the vegetation lower tiers of pine phytocenoses in southern Karelia. Extended abstract of biol. sci. thesis), Petrozavodsk, 1973, 24 p.*

Belonogova T.V., Rumyantseva L.G., *Formirovanie urozhaya cherniki i brusniki v lesakh yuzhnoi Karelii (Formation of the harvest of blueberries and lingonberries in the forests of southern Karelia), In: Sistema lesokhozyaystvennykh meropriyatiy v osnovnykh lesakh Karelii (System of forestry measures in the pine forests of Karelia), Petrozavodsk, 1985, pp. 128–137.*

Borges J.G., Garcia-Gonzalo J., Botequim B., Barreiro, S., Marques S., Tomé M., *Scenario Development at Landscape Level Under Different Management Strategies, Deliverable 2.2, FP-7 INTEGRAL project available online under, 2014a, available at: www.integralproject.eu.*

Brusnika: morfologiya i anatomiya. Fitotsenoticheskaya priurochennost'. Urozhainost'. Khranenie i pererabotka. Khimicheskii sostav yagod, (Lingonberry: morphology and anatomy. Phytocenotic confinement. Productivity. Storage and processing. Chemical composition of berries), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1986, 80 p.

Cherkasov A.F., Shutov V.V., Mironov K.A., *Vosstanovlenie zaroslei brusniki i cherniki posle sploshnykh rubok (Restoration of lingonberry and blueberry thickets after clear-cutting), Lesovedenie, 1988, No. 4, pp. 42–48.*

- Chumachenko S.I., Bazovaya model' dinamiki mnogovidovogo raznovozrastnogo lesnogo tsenoza (A core model of dynamics of multi-species variously aged forest coenose), *Nauchnye trudy Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa*, 1993, No. 248, pp. 147–180.
- Chumachenko S.I., *Imitatsionnoe modelirovanie mnogovidovykh raznovozrastnykh lesnykh nasazhdenii. Diss. dokt. biol. nauk* (Simulation of multi-species uneven-aged forest stands. Doctor's biol. sci. thesis), M.: MGUL, 2006, 287 p.
- Chumachenko S.I., Korotkov V.N., Palenova M.M., Politov D.V., Simulation modelling of long-term stand dynamics at different scenarios of forest management for coniferous – broad-leaved forests, *Ecological Modelling*, 2003, Vol. 170, No. 2–3, pp. 345–361.
- Chumachenko S.I., Syssouev V.V., Palyonova M.M., Bredikhin M.A., Korotkov V.N., Imitation modeling of heterogeneous uneven-aged stands spatial dynamics taking into account silvicultural treatment, *IUFRO Conference*, Copenhagen, 1996, pp. 484–492.
- Czerepanov S.K., *Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR)*, Cambridge: Cambridge university press, 1995, 516 p.
- Diagnozy i klyuchi vozrastnykh sostoyanii lesnykh rastenii. Derevyia i kustarniki* (The keys to diagnosis of the age state of forest plants. Trees and shrubs), M.: Prometei, 1989, 102 p.
- Dulina A.A., Chumachenko S.I., Obzor modelei otsenki pishchevykh resursov lesov tsentral'noi chasti Rossii (Review of models of estimation of food resources of forests of the central part of Russia), *Voprosy lesnoi nauki*, 2018, Vol. 1, No. 1, pp. 1–22.
DOI 10.31509/2658-607X-2018-1-1-1-22
- Egorova N.Y., Egoshina T.L., Yaroslavtsev A.V., Shlykova D.A., Obotnin S.I., Dinamika urozhainosti plodov *Vaccinium myrtillus* L. v el'nikakh severo-vostoka evropeiskoi Rossii (Dynamics of yield of *Vaccinium myrtillus* L. fruits in spruce forests of the north-east of european Russia), *Sokhranenie lesnykh ekosistem: problemy i puti ikh resheniya (Preservation of forest ecosystems: problems and ways to solve them)*, Kirov, Proc. of II Intl. Sci. and Pract. Conf., May 27–31, 2019, Kirov: VyatGU, pp. 264–267.
- Egoshina T.L., Nedrevesnye rastitel'nye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie (Non-timber plant resources of Russia and their use), *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*, 2005, No. 4, pp. 104–111.
- Ihalainen M., Salo K., Pukkala T., Empirical prediction models for *Vaccinium myrtillus* and *V. vitis-idaea* berry yields in North Karelia, *Silva Fennica*, 2003, Vol. 37, No. 1, pp. 95–108.
- Kazantseva M.N., Mir'yaminova L.R., Plodonoshenie maliny obyknovnoy (*Rubus idaeus* L.) v lesakh na yuge Tyumenskoi oblasti (Fruiting of red raspberry (*Rubus idaeus* L.) in the forests of the south part of the Tyumen region), *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2017, No. 47, pp. 22–25.
- Khanina L.G., Klassifikatsiya tipov lesorastitel'nykh uslovii po indikatornym vidam Vorob'eva-Pogrebnyaka: baza dannykh i opyt analiza lesotaksatsionnykh dannykh (Classification of forest sites by the Vorobjev-Pogrebnyak's species indicator tables: database and experience of analysis of forest inventory data), *Voprosy lesnoi nauki*, 2019, Vol. 2, No. 4, pp. 1–30.
- Kislitsyna A.V., Egoshina T.L., Osnovnye resursnye i populyatsionnye parametry *Vaccinium myrtillus* L. v yuzhnotaezhnykh lesnykh ekosistemakh Kirovskoi oblasti (Key resource and population parameters of *Vaccinium myrtillus* L. in south taiga forest ecosystem of the Kirov region), *Vestnik PGTU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2016, No. 3(31), pp. 77–86.
- Kolycheva A.A., Chumachenko S.I., Otsenka urozhainosti lesnykh yagod s uchetom urovnya osveshchennosti napochvennogo pokrova metodami imitatsionnogo modelirovaniya (Estimation of the yield of wild berries taking into account the level of illumination of the ground cover by simulation methods), *Voprosy lesnoi nauki*, 2021, Vol. 4, No. 3, pp. 87–113.
DOI 10.31509/2658-607X-202143-90
- Konyukhova O.M., Maslennikova K.A., Kanarskii A.V., Vzaimosvyaz' urozhainosti cherniki obyknovnoy s fitobiotsenozom (Phytobiocoenotic controls on the yield European blueberry), *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013, Vol. 16, No. 22, pp. 222–224.
- Kurlovich L.E., Pankov V.B., Kivileva I.M., Vliyaniye lesokhozyaistvennoi deyatelnosti na sostoyaniye i produktivnost' pishchevykh i lekarstvennykh rastenii (Silvicultural activity impacts on food and medicinal plant condition and productivity), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 2015, No. 2, pp. 24–34.
- Landolt E., Okologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora, In: *Veroffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel, Zurich*, 1977, Vol. 64, 208 p.
- Lukina N.V., Global'nye vyzovy i lesnye ekosistemy (Global challenges and forest ecosystems), *Vestnik RAN*, 2020, Vol. 90, No. 6, pp. 528–532.
- Lukina N.V., Lesa v sovremennom mire (Global challenges, forests and earth remote sensing), *Zemlya i Vseleennaya*, 2020a, No. 6, pp. 18–26.
DOI 10.7868/S004439482006002X
- Luzan A.A., Otsenka vliyaniya odnositel'noi polnoty drevostoya na urozhainost' *Vaccinium myrtillus* L. v verkhnem techenii r. Iya (Irkutskaya oblast') (Evaluation of impact of relative density of tree stratum on yield *Vaccinium myrtillus* L. in upper stream of river Iya (Irkutsk region)), *Vestnik IRGSKhA*, 2015, No. 68, pp. 44–49.
- Malinovskikh A.A., Vliyaniye urovnya osveshchennosti pod pologom lesa na urozhainost' cherniki v usloviyakh Sredne-obskogo bora Altaiskogo kraya (The effect of illumination level under forest canopy on European blueberry yield under the conditions of the Sredne-Obskoy pine forest of the Altai region), *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, Vol. 6, No. 152, pp. 87–92.
- Malinovskikh A.A., Vliyaniye urovnya osveshchennosti pod pologom lesa na urozhainost' brusniki v usloviyakh Sredne-obskogo bora Altaiskogo kraya (The effect of illumination level under forest canopy on cowberry yield under the conditions of the Sredne-Obskoy pine forest of the Altai region), *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, No. 4(138), pp. 105–109.
- Manning P., Plas F., Soliveres S., Allan E., Maestre F.T., Mace G., Whittingham M.J., Fischer M., Redefining ecosystem multifunctionality, *Nature Ecology and Evolution*, 2018, Vol. 2, No. 3, pp. 427–436.
- Metodika podbora zemel'nykh uchastkov Gosudarstvennogo lesnogo fonda dlya promyslovoi zagotovki klyukvy, brusniki, cherniki, golubiki*, (Methodology for selecting land plots of the State Forest Fund for commercial harvesting of cran-

- berries, lingonberries, blueberries, blueberries), Moscow: Gosleskhoz SSSR, 1986, 12 p.
- Miina J., Hotanen J.-P., Salo K., Modelling the abundance and temporal variation in the production of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish mineral soil forests, *Silva Fennica*, 2009, Vol. 43, pp. 577–593.
- Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*, USA, Washington: Island Press, 2005, available at: <http://www.millenniumassessment.org/en/Reports.aspx#>
- Obydennikov V.I., Avdeev A.N., Avdeev E.N., Ispol'zovanie i vosproizvodstvo resursov yagodnikov v svyazi s rubkami v sel'skikh lesakh Novgorodskoi oblasti (Use and reproduction of berry resources in connection with logging in rural forests of the Novgorod region), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 2002, No. 10, pp. 15–21.
- Ontogeneticheskii atlas lekarstvennykh rastenii*, (Ontogenetic Atlas of Medicinal Plants), Yoshkar-Ola: MarGU, 2013, Vol. 7, 364 p.
- Petrov N.V., Sravnitel'naya otsenka zapasov yagod *Vaccinium myrtillus* i *V. vitis-idaea* (Ericaceae) v korennykh i proizvodnykh tipakh lesa srednetaezhnykh landshaftov Karelii (Comparative estimation of the *Vaccinium myrtillus* and *V. vitis-idaea* (Ericaceae) berries stock in primary and secondary forest in middle taiga landscapes of Karelia), *Rastitel'nye resursy*, 2019, Vol. 55, No. 1, pp. 23–35.
- Petrov N.V., Volkov A.D., Gromtsev A.N., Kurkhiinen Y.P., Kolomytsev V.A., Ivanov V.F., Tuyunen A.V., Litinskii P.Y., *Bioresursnyi potentsial geograficheskikh landshaftov severozapada taezhnoi zony Rossii (na primere Respubliki Kareliya)* (Bioresource potential of geographic landscapes of the north-west of the taiga zone of Russia (on the example of the Republic of Karelia)), Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2005, 188 p.
- Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiiskoi Federatsii ot 01.12.2020 № 993 "Ob utverzhdenii Pravil zagotovki drevesiny i osobennosti zagotovki drevesiny v lesnichestvakh, ukazannykh v stat'e 23 Lesnogo kodeksa Rossiiskoi Federatsii"* (Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated December 1, 2020 No. 993 "On Approval of the Rules for Timber Harvesting and Features of Timber Harvesting in Forest Areas Specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation") (registered on December 18, 2020 No. 61553).
- Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiiskoi Federatsii ot 30.07.2020 № 534 "Ob utverzhdenii Pravil ukhoda za lesami"* (Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated July 30, 2020 No. 534 "On approval of the Rules for the care of forests") (registered on December 18, 2020 No. 61555).
- Shabarova S.I., Tsenoticheskie osobennosti cherniki i ee rol' v povyshenii ustoichivosti sosnyakov Poles'ya USSR (Coenotic features of blueberries and its role in increasing the resistance of pine forests in Polissya of the Ukrainian SSR), *Dikorastushchie yagodnye rasteniya SSSR* (Wild berry plants of the USSR), Petrozavodsk, Proc. of All-Union Meeting, pp. 155–156.
- Sheppard J.P., Chamberlain J., Agúndez D., Bhattacharya P., Chirwa P.W., Gontcharov A., Sagona W.G., Shen H., Tadesse W., Mutke S., Sustainable Forest Management Beyond the Timber-Oriented Status Quo: Transitioning to Co-production of Timber and Non-wood Forest Products – a Global Perspective, *Current Forestry Reports*, 2020, Vol. 6, No. 1, pp. 26–40.
- Taksatsionnyi spravochnik po lesnym resursam Rossii (za isklucheniem drevesiny)*, (Taxation handbook on forest resources of Russia (excluding timber)), Pushkino: VNIILM, 2018, 281 p.
- Teben'kova D.N., Lukina N.V., Chumachenko S.I., Danilova M.A., Kuznetsova A.I., Gornov A.V., Gagarin Yu.N., Mul'tifunktional'nost' i bioraznoobrazie lesnykh ekosistem (Multifunctionality and biodiversity of forest ecosystems), *Lesovedenie*, 2019, No. 5, pp. 341–356.
- Teben'kova D.N., Lukina N.V., Kataev A.D., Gagarin Y.N., Kuznetsova A.I., Orlova M.A., Stsenarnyi podkhod k modelirovaniyu razvitiya lesnykh uchastkov (Scenario approach to modeling the development of forest plots), *Nauchnye osnovy ustoichivogo upravleniya lesami (Scientific basis for sustainable forest management)*, Moscow, Proc. of All-Russian Sci. Conf., Moscow: TsEPL RAN, pp. 173–175.
- Telishevskii D.A., *Kompleksnoe ispol'zovanie nedrevesnoi produktsii lesa* (Integrated use of non-timber forest products), M.: Lesnaya promyshlennost', 1986, 261 p.
- Tsyganov D.N., *Fitoindikatsiya ekologicheskikh rezhimov v podzone khvoino-shirokolistvennykh lesov* (Phytoindication of ecological requirements in the mixed forest subdomain), M.: Nauka, 1983, 197 p.
- Turtiainen M., Miina J., Salo K., Hotanen J.-P., Empirical prediction models for the coverage and yields of cowberry in Finland, *Silva Fennica*, 2013, Vol. 47, No. 3, pp. 22.
- Turtiainen M., Miina J., Salo K., Hotanen J.-P., Modelling the coverage and annual variation in bilberry yield in Finland, *Silva Fennica*, 2016, Vol. 50, No. 4, p. 12.
- Turtiainen M., Salo K., Saastamoinen O., Model-based estimates of regional and national bilberry and lingonberry yields on mineral soils in Finland, *University of Joensuu: Faculty of Forestry. Research Notes*, 2005, 44 p.
- Yaroslavtsev A.V., Morfologicheskie osobennosti cherniki obyknovЕННОI, proizrastayushchei v raznykh tipakh lesnykh fitotsenozov yuzhnoi taigi (Morphological characteristics of bilberry growing in various types of forest phytocenoses of south taiga), *Sovremennye problemy prirodopol'zovaniya, okhotovedeniya i zverovodstva*, 2007, No. 1, pp. 498–499.
- Zalesov S.V., Panin I.A., Resursy yagodnykh kustarnichkov v el'nike mshistom Severoural'skoi srednegornoi lesorastitel'noi provintsii (Resources of berry shrubs in mossy spruce forests of the Northern Ural middle mountains forest province), *Lesnoi vestnik. Forestry bulletin*, 2017, Vol. 21, No. 1, pp. 21–27.
- Zvorykina K.V., Vliyanie vyrubki na urozhainost' cherniki (Effect of felling on blueberry yield), In: *Produktivnost' dikorastushchikh yagodnikov i ikh khozyaistvennoe ispol'zovanie* (Productivity of wild-growing berries and their economic use), Kirov: Vsesoyuznyi nauchno-issledovatel'skii institut okhotnich'ego khozyaistva i zverovodstva, 1972, pp. 17–19.