



УДК 630*236:582.475:577.112.385.2
DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-9-37

ПОЛУЧЕНИЕ ОБОГАЩЕННОЙ L-АРГИНИНОМ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В МОЛОДНЯКАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (НАУЧНЫЙ ОБЗОР)

Е.В. Робонен¹, науч. сотр.; ResearcherID: [AAD-1958-2019](https://orcid.org/0000-0001-7926-8672),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7926-8672>

Н.П. Чернобровкина¹, д-р биол. наук, доц.; ResearcherID: [K-6120-2018](https://orcid.org/0000-0002-9716-003X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9716-003X>

М.И. Зайцева², канд. техн. наук; ResearcherID: [P-2238-2015](https://orcid.org/0000-0003-4209-2815),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4209-2815>

Б.В. Раевский¹, д-р с.-х. наук; ResearcherID: [K-6424-2018](https://orcid.org/0000-0002-1315-8937),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1315-8937>

А.В. Егорова¹, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [K-6095-2018](https://orcid.org/0000-0002-1691-1269),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-1269>

Г.Н. Колесников², д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [A-1553-2014](https://orcid.org/0000-0001-9694-0264),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9694-0264>

¹Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: er51@bk.ru, chernobr@krc.karelia.ru, egorova.anast@mail.ru, borisraevsky@gmail.com

²Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: 2003bk@bk.ru, kolesnikovgn@yandex.ru

Леса продуцируют огромное количество органического вещества – возобновляемого сырья для производства технических, кормовых, пищевых и фармацевтических продуктов. Лесозаготовительная и деревообрабатывающая промышленность Карелии, как и в целом по России, применяет исключительно стволую древесину. В процессе рубок спелых и перестойных насаждений, рубок ухода, а также выполнения мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов, предусматривающих рубку лесных насаждений, образуется древесная зелень. Разработка технологий использования древесной зелени необходима для осуществления многоцелевого освоения всей фитомассы, продуцируемой лесными растительными сообществами. Развитие производств по переработке образующихся в процессе рубок ухода и обрезки сучьев тонкомера, низкокачественной и малоценной лиственной древесины, древесной зелени, являющихся сырьем для изготовления биологически активных препаратов различного действия, позволяет не только сократить расходы, но и обеспечивает прибыльность этих мероприятий. В настоящее время в нашей стране остро стоит задача увеличения объемов использования собственных, импортозамещающих фармацевтических субстанций, поиска альтернативных способов получения сырья для питательных смесей, кормовых продуктов. Для освоения новых сырьевых источников разрабатываются технологии модификации биохимического состава древесной зелени хвойных с получением растительного сырья, обогащенного целевыми биологически активными веществами. Водорастворимая фракция древесной зелени хвойных содержит в своем составе свободные аминокислоты, в частности L-аргинин, играющий важную роль в жизнедеятельности животных. Перспективным является способ повышения в хвойном сырье содержания свободных аминокислот и изменения их количественного соотношения путем регуляции режима минерального питания древесных растений. Для получения

хвойной древесной зелени, обогащенной L-аргинином, предлагается оригинальная схема дополнительного обеспечения растений азотом и бором. Использование хвойных растений в качестве биопродуцентов L-аргинина и изучение его метаболизма с учетом климатических факторов, условий минерального питания, сезонной и суточной динамики в естественной среде, поиск путей повышения его уровня в органах и тканях актуальны как в теоретическом, так и практическом аспектах. Получение хвойной древесной зелени, обогащенной L-аргинином, позволит организовать производство хвойных продуктов нутриентного и фармацевтического назначения. Для оценки экономической целесообразности организации такого производства необходимо проанализировать: потенциальные источники сырья на предмет их доступности; затраты на обогащение хвои L-аргинином; выход продукта с единицы площади. Разработана последовательность лесохозяйственных мероприятий как в процессе осуществления различных видов использования лесов, так и при проведении работ, направленных на повышение продуктивности лесов, сохранение их полезных функций. При этом в молодняках сосны обыкновенной появляется возможность превратить затратные виды мероприятий (осветление, прочистка, внесение удобрений) в доходные с получением дополнительного продукта. Технологии целенаправленного изменения химического состава и фармакологических свойств растительного сырья из древесных растений позволят осваивать новые сырьевые источники биологически активных веществ.

Для цитирования: Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Зайцева М.И., Раевский Б.В., Егорова А.В., Колесников Г.Н. Получение обогащенной L-аргинином древесной зелени при проведении лесохозяйственных мероприятий в молодняках сосны обыкновенной (научный обзор) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 5. С. 9–37. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-9-37

Финансирование: Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН) и по Программе развития опорного университета ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет».

Ключевые слова: лесные культуры, рубки ухода, азот, бор, удобрения, сосна обыкновенная, древесная зелень, L-аргинин, ресурсосбережение.

Введение

Леса, являющиеся источником древесных и недревесных ресурсов, а также широкого спектра экосистемных услуг, занимают в общем природно-ресурсном потенциале России важное место [14, 35, 43]. Органическое вещество, продуцируемое лесами, – это гигантский возобновляемый источник сырья для производства технических, нутриентных и фармацевтических продуктов. Важно организовать рациональное использование всех лесных ресурсов, сохраняя при этом высокую продуктивность леса, обеспечить переход от моноресурсного лесопользования к полиресурсному [47, 49, 72]. Лесозаготовки осуществляются преимущественно в бореальных лесах, которые занимают около 65 % лесной площади [70]. Уровень глубокой переработки лесных ресурсов в России, обладающей почти 1/4 мировых запасов древесины всех пород, явно не отвечает ее ресурсному потенциалу [44]. Отечественные производители ориентированы преимущественно на низкомаржинальные сегменты – круглый лес, пиломатериалы, фанерный шпон.

Лесозаготовительная и деревообрабатывающая промышленность в Карелии, как и в целом по России, основывается почти исключительно на использовании стволовой древесины. Остаются в лесу низкокачественная древесина, ветви, хвоя, листья, масса которых, по разным оценкам, составляет

10...15 % массы ствола [26]. На древесную зелень приходится в среднем около 6 %, т. е. 60 м³ на 1000 м³ заготовленной древесины [69]. Огромным резервом является многоцелевое освоение всей продуцируемой лесными растительными сообществами фитомассы, в том числе древесной зелени.

Цель исследования – обзор литературы для обоснования целесообразности разработки биотехнологии обогащения L-аргинином древесной зелени хвойных, образующейся в процессе проведения различных видов лесохозяйственной деятельности, и получения из нее продуктов нутриентного и фармацевтического назначения.

Биологически активные вещества хвои и их использование

Применение отходов лесного комплекса, разработка ресурсосберегающих технологий способствуют максимальному использованию местного сырья. Древесная зелень хвойных содержит комплекс веществ, обладающих высокой биологической активностью и представляющих практически все классы органических соединений, содержащихся в растениях [84].

Органические вещества, образующие растительную клетку, представлены целлюлозой, лигнином, гемицеллюлозами, экстрактивными компонентами. В ходе исследования биохимического состава хвои установлено, что она богата витаминами, ферментами, микроэлементами, фитонцидами, липидами, белками и др. [66]. Полученная информация использовалась при разработке продуктов фармацевтического и нутриентного назначения, производство которых осуществлялось на лесохимических предприятиях. В основе технологий – исследования, проведенные на базе Ленинградской лесотехнической академии под руководством Ф.М. Солодкого, Г.В. Пигулевского, Б.Н. Рutowского, А.П. Пентегова [66].

Разработка научных основ использования древесной зелени осуществлялась в 70–80-е гг. в Институте леса Карельского филиала АН СССР под руководством С.С. Зябченко [31]. Были получены сведения о ресурсах древесной зелени хвойных пород в лесах Карелии, данные о количестве некоторых биологически активных веществ (БАВ) в ней, проработаны вопросы технологии заготовки древесной зелени и производства хвойно-витаминной муки [31]. Большое внимание было уделено построению моделей возрастной динамики таксационных признаков и распределения различных фракций фитомассы для оценки полного биоресурсного потенциала древостоев и прогнозирования его изменения с возрастом, оценки запаса древесной зелени на 1 га и выхода древесной зелени со всей кроны в зависимости от толщины дерева. В результате этого на территории Карелии были организованы производства различных видов кормов из древесной зелени: веточного корма, веточных хлопьев, лесного силоса, витаминной муки и других продуктов для скормливания животным [31]. Ограничением при использовании древесной зелени является наличие дубильных веществ в листве (дуб, каштан, лещина) и смолистых веществ в хвое в летний период.

В настоящее время при разработке принципов лечебного питания, изыскании новых сырьевых источников для кормопроизводства и фармацевтики привлекаются данные из этноботанической и этномедицинской литературы [95]. Хвоя издавна использовалась в медицине и сельском хозяйстве. Чай, отвары и пиво готовили из хвои елей и сосен, использовали для лечения симптомов цинги. Жители лесных районов скормливали хвойную лапку скоту при авитаминозах, кишечных, респираторных заболеваниях и недостатке грубых кормов [10].

Установлено, что свежая хвоя сосны и ели способствует заметному снижению зараженности овец, свиней и птиц цестодами, аскаридиями, гетвракисами, стронгилятами, фасциолами и др. Менее эффективно обеззараживает животных от паразитов мука из высушенной хвои сосны и ели [21]. Практика использования хвои в животноводстве подтвердила не только ее высокую витаминную ценность, но и необходимость учитывать большое содержание в ней эфирных масел, смол, танидов и гликозидов, не позволяющих применять ее в больших количествах без соответствующей обработки (пропаривание, высушивание или измельчение на хвойную муку, экстрагирование БАВ) [31].

Успехи в области химии природных соединений и биотехнологии расширили возможности применения экстрактивных веществ, получаемых из растительного сырья [27, 59]. БАВ растительного происхождения входят в состав многих лекарственных препаратов. Ведутся работы по созданию более эффективных лекарственных форм, новых технологий их производства на основе природных соединений биомассы дерева [41]. Для сокращения затрат на корма в целях повышения рентабельности животноводства приоритетное значение имеет обеспечение рационального использования ресурсов на основе широкого применения инновационных технологий, биологизации и экологизации производства. Исторический опыт развития фармации и фармакологии указывает на приоритетность соединений природного происхождения при создании лекарственных препаратов различного действия [58]. Растущий спрос на БАВ и истощение традиционных ресурсов растительного сырья требует изыскания новых сырьевых ресурсов. Выявление новых источников БАВ, представляющих практическую значимость, является актуальной задачей. Однако крупномасштабное использование природных источников БАВ, многотоннажная их заготовка может привести к экологическим проблемам. Применение древесной зелени, напротив, способствует решению природоохраных задач [60, 61].

А.Д. Беззубов отмечает, что более 200 лет назад в России хвою использовали для лечения цинги и даже экспортировали в Западную Европу, применяли во время русско-шведской войны [9]. Известно, что, начиная с ноября 1941 г., в блокадном Ленинграде в рамках мероприятий по предупреждению авитаминоза было организовано производство витаминного настоя. В качестве источника аскорбиновой кислоты использовали хвою. Известно, что при лечении некоторых заболеваний применяют флавоноиды и другие фенолы, аскорбат, глутатион, витамин Е и β -каротин из древесной зелени и коры хвойных [112].

Аргинин хвойных нутриентного и фармацевтического назначения

Водорастворимая фракция древесной зелени хвойных содержит в своем составе свободные аминокислоты, которые могут использоваться в качестве компонентов лечебного питания. Известно, что у некоторых видов сосен аргинин является одним из основных компонентов белков семян и составляет значительную часть пула свободных аминокислот в проросших семенах и сеянцах [117]. Он может в значительном количестве присутствовать в составе свободных аминокислот хвои сосны обыкновенной. Хвойные растения содержат образованные из L-аргинина гуанидиновые соединения – потенциальные терапевтические агенты для регулирования различных NO-синтаз в случаях, когда перепроизводство оксида азота связано с септическим шоком,

нейродегенерацией, воспалением. Предложена гипотеза о нутриентной и синергической роли L-аргинина и его метаболитов, дополняющих роль витамина С [95].

Разработка и внедрение технологии производства фармацевтических субстанций, галеновых и новогаленовых препаратов из обогащенной L-аргинином хвои позволяет сократить импорт дорогостоящих лекарственных препаратов для медицинской и ветеринарной практики. L-аргинин входит в состав многих терапевтических и противовирусных средств. Являясь источником образования оксида азота – мощного сосудорасширяющего фактора и нейромедиатора, он применяется в кардиологии и иммунологии, замедляет рост доброкачественных и злокачественных опухолей, способствует заживлению ран, регулирует выработку гормонов, используется при заболеваниях почек, в лечении цирроза печени. Применяется в сельском хозяйстве: его добавление к кормам, наряду с лизином и метионином, способствует быстрому росту животных, повышению их продуктивности. Высокой потребностью в L-аргинине отличаются хищные животные, рыбы, домашняя птица.

Перспективы биотехнологии обогащения L-аргинином древесной зелени хвойных

Технологии модификации биохимического состава древесной зелени хвойных с получением растительного сырья, обогащенного целевыми БАВ, разрабатываются для освоения новых сырьевых источников, обеспечивающих производство продуктов фармацевтического и нутриентного назначения. Предложена технология обогащения хвойной древесной зелени L-аргинином и получения из нее хвойных препаратов – хвойной муки и водного хвойного экстракта [60, 61, 78–82]. Имеются положительные результаты испытаний аргининового хвойного экстракта при выращивании щенков пушных зверей на примере американской норки (*Mustela vison* Shr.) [53, 75]. Хвойная мука, обогащенная L-аргинином, в качестве кормовой добавки повышала рост и продуктивность сельскохозяйственной птицы [52]. Технология основывается на оригинальной схеме дополнительного обеспечения хвойных растений азотом и бором [60, 61, 78, 79, 81, 82].

Минеральное питание и свободные аминокислоты хвойных

Для эффективного использования всех частей дерева важно иметь информацию об относительной локализации БАВ в его органах и тканях, закономерностях их накопления во временном аспекте, в связи с условиями роста, для разных возрастных групп. Учитывая возможную перспективу использования хвойных растений в качестве биопродукторов L-аргинина, необходимо изучать его метаболизм с учетом климатических факторов и условий минерального питания, в сезонной и суточной динамике [62, 82]. Известно, что у хвойных растений с L-аргинином и его производными непосредственно связаны процессы перехода в состояние зимнего покоя и подготовки к распусканию почек весной [96, 97]. Для лучшего понимания роли метаболизма аргинина в эффективности использования азота растениями исследуются регуляторные механизмы, ответственные за его содержание в органах и тканях, определяющие преобладание процессов запасаения или метаболизации азота, образование оксида азота как сигнального агента роста, размножения или защиты от стрессов [163].

Небелковой фракции, которая в основном представлена свободными аминокислотами, принадлежит большая роль в азотном обмене древесных расте-

ний [48]. Свободные аминокислоты используются в синтезе белков, нуклеиновых кислот и многих азотсодержащих веществ, а также участвуют в образовании органических кислот, сложных углеводов и липидов, они тесно связаны с процессами роста и развития растений. Изменение состава свободных аминокислот в тканях хвойных растений может происходить вследствие разбалансированности минерального питания или других неблагоприятных условий среды [1, 82, 83, 103, 109, 136]. На многих видах растений показано накопление богатых азотом аминокислот в ответ на высокую обеспеченность азотом и низкую – фосфором [161]. В пуле свободных аминокислот у хвойных растений на богатых азотом почвах обычно доминирует L-аргинин [133, 136], повышается также содержание орнитина и лизина. Синтез L-аргинина может быть вызван недостатком других макро- и микроэлементов и, предположительно, является общей реакцией на стрессы, снижающие рост, а не на доступность какого-то конкретного элемента питания [133]. Увеличивая содержание отдельных аминокислот в растениях, можно получить растительный материал с новыми свойствами, повысить питательную ценность продуктов из него, улучшить защиту растений от вредителей [83].

Хвойные леса, как правило, растут на кислых подзолистых лесных почвах, которые испытывают недостаток азота. Кроме азота, дефицитным для роста хвойных в условиях Фенноскандии является бор [81, 162]. Дефицит азота и бора заметно отражается на росте и развитии древесных растений. Их обеспеченность азотом и бором тесно взаимосвязаны – при повышении содержания ионов NH_4^+ в почвенном субстрате снижается поступление бора в растения, что отражается на поглощении ими азота. Внесение азота в высоких дозах может приводить к разбалансированности минерального, прежде всего фосфорного, питания, ограничению интенсивности фотосинтеза [98, 153].

На основании выявленных закономерностей, касающихся механизмов детоксикации высоких доз азота у хвойных растений в связи с обеспеченностью бором, накопления и распределения L-аргинина в кроне сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при регуляции азотного и борного обеспечения, разработана биотехнология получения хвойных препаратов, обогащенных L-аргинином – аргининового иммуностимулятора и хвойной муки. Для внедрения технологии в практику необходимо изыскание возможных источников древесной зелени. При этом надо учитывать, что технологический процесс, приводящий к образованию древесной зелени, должен обеспечивать включение дополнительной операции – внесение азотно-борных удобрений.

Утилизация отходов различных видов лесохозяйственной деятельности

Древесная зелень образуется в процессе проведения лесосечных работ, связанных с заготовкой древесины и другими видами использования лесов, а также с выполнением мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов, предусматривающих рубки лесных насаждений (см. таблицу). К мероприятиям, направленным на повышение продуктивности лесов, сохранение их полезных функций, в результате проведения которых образуется древесная зелень, относятся рубки ухода, обрезка сучьев и ветвей.

**Мероприятия лесохозяйственной деятельности, сопровождающиеся
образованием древесной зелени сосны обыкновенной**

Мероприятие	Содержание работ	Возрастной интервал насаждения и иные его характеристики
<i>Использование лесов</i>		
Заготовка древесины	Полное или частичное удаление деревьев	С наступлением спелости леса
Выполнение работ по геологическому изучению недр, разработка месторождений полезных ископаемых	Полное удаление древесно-кустарниковой растительности	Без ограничений
Строительство и эксплуатация водохранилищ и иных искусственных водных объектов, гидротехнических сооружений и т. д.		
Строительство, реконструкция, эксплуатация линейных объектов		
Реконструкция, эксплуатация линейных объектов	Расчистка трасс ЛЭП, удаление древесно-кустарниковой растительности*	Молодняк древесных растений до 4 м высотой
<i>Охрана, защита и воспроизводство лесов</i>		
Уход за насаждением	Рубки ухода в молодняках	Осветление (до 10 лет) Прочистка (до 20 лет)
	Уход в средневозрастных древостоях*	Прореживание. Жердняковый этап (21–40 лет)
	Рубки в приспевающих древостоях	Проходные рубки. Последний этап (за 20 лет до главной рубки)
Уход за опушками	Вырубка до полноты 0,4–0,5. Ширина 20...25 м по границе с безлесными пространствами, 5...10 м вдоль дорог, ЛЭП	Древостои не старше 50–60 лет
Уход за формой ствола и качеством древесины	Обрезка сучьев и ветвей с доведением бессучковой части ствола до 6...7 м*	В возрасте прореживания (повторяется через 4–6 лет)

*Мероприятия, перспективные для получения древесной зелени, обогащенной L-аргинином.

Одно из основных мероприятий, определяющих рентабельность всего цикла лесовыращивания, – рубки ухода в молодняках, которые проводятся в насаждениях до 20 лет [3]. Низкий процент выполнения рубок ухода объясняется высокой затратностью этих работ [42]. После рубок ухода, обрезки ветвей, внесения удобрений увеличивается размер деревьев разреженного древостоя,

изменяется его качество [64]. Экономическим стимулом для проведения рубок ухода в молодняках и средневозрастных насаждениях является обеспечение прибыльности мероприятия путем развития производств по переработке и использованию тонкомера, низкокачественной и малоценной лиственной древесины. Рассматривается возможность применения недревесных волокнистых материалов для производства целлюлозы [120]. Многочисленные опыты доказали реальность изготовления качественной технологической щепы из тонкомерной древесины хвойных и лиственных пород [18]. Перспективно ее использование в качестве энергетического сырья [4, 68, 102, 145, 146]. Для получения газообразного и жидкого биотоплива применяют термохимическую переработку отходов, образующихся при заготовке лесных ресурсов [63], в том числе и сверхкритическую флюидную экстракцию, которая превосходит экстракцию водяным паром по разнообразию и количеству экстрагируемых веществ. Развиваются технологии использования низкокачественной и малоценной древесины в строительных конструкциях [12]. Разрабатываются способы импрегнации тонкомера осины и сосны для изготовления элементов кровли в деревянном домостроении [11, 12, 37, 56]. Перспективна также заготовка и переработка древесной зелени, которая может стать сырьем для производства БАВ различного действия [15, 59, 71, 77, 79]. Показано ростостимулирующее и защитное действие экстрактов из древесной зелени хвойных и лиственных пород при выращивании семян сосны обыкновенной [23, 24]. Предложена принципиально новая технология получения стимулятора роста для сосны из растущих листьев ивы козьей с учетом временной составляющей отбора сырья [25, 55]. Разработаны новые агротехнические приемы выращивания посадочного материала в теплично-питомнических комплексах с применением компонентов субстрата из древесной зелени хвойных и лиственных пород [28, 54].

Потенциальные источники обогащенной L-аргинином древесной зелени

Анализ потенциальных источников сырья (хвои, обогащенной L-аргинином) с учетом их доступности, объемов, затрат на проведение мероприятий по обогащению хвои L-аргинином, количества получаемого продукта с единицы площади необходим для оценки экономической целесообразности организации такого производства.

Получение обогащенной L-аргинином хвои в процессе заготовки древесины представляется трудно осуществимым в связи с тем, что для этого требуется четкая увязка планов лесозаготовителей с проведением подготовительных работ по внесению удобрений. Кроме того, такое внесение удобрений будет бесполезным с точки зрения последующего лесовосстановления, искусственного или естественного. Более того, оно может привести к более интенсивному росту сорной растительности, интенсивному задернению вырубki, что будет препятствовать процессу последующего лесовосстановления. Внесение удобрений до рубки главного пользования могло бы оказаться полезным в случае реализации предварительного возобновления, но, учитывая трудности сохранения подростa в процессе рубки материнского насаждения с помощью современной лесозаготовительной техники, применяют этот способ в основном в лесодефицитных районах страны [45], что для Карелии не актуально.

Источником сырья может являться древесная зелень, образующаяся при выполнении работ по геологическому изучению недр, разработке месторождений полезных ископаемых, строительству и эксплуатации водохранилищ и иных искусственных водных объектов, гидротехнических сооружений, возведению линейных объектов.

Расчистка трасс линий электропередачи (ЛЭП), а также других линейных объектов от древесно-кустарниковой растительности является комплексом ручных и механизированных лесосечных работ по валке, корчевке или обрезке деревьев и кустарников для прокладки или поддержания трасс в надлежащем порядке. В больших количествах древесная зелень образуется в процессе вырубки трасс при строительстве дорог, ЛЭП, нефте- и газопроводов, а также при их реконструкции и эксплуатации (см. таблицу).

Расчистка трасс под ЛЭП при эксплуатации. Проблема расчистки трасс под ЛЭП актуальна для многих энергосистем России. Заращение просек древесно-кустарниковой растительностью приносит большой экономический ущерб, вызывая аварии, работы по расчистке трасс ЛЭП необходимы для обеспечения надежности энергоснабжения потребителей. Проведение расчисток требуется через каждые 5–15 лет, в зависимости от породы деревьев и почвенно-климатических условий. Для удаления или измельчения древесно-кустарниковой растительности при расчистке трасс линейных объектов разрабатываются специализированные машины и навесные агрегаты [44, 50]. Использование древесной зелени, получаемой при расчистке трасс ЛЭП, в качестве сырья для получения БАВ позволило бы сократить расходы по обслуживанию трасс [61]. При этом вырубается обычно молодняки до 4 м высотой, что регламентируется техническими требованиями по эксплуатации таких объектов.

Древесная зелень от рубок ухода. Рациональным представляется обогащение древесной зелени L-аргинином при осуществлении мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов (см. таблицу). При выстраивании последовательности таких затратных работ по уходу в молодняках сосны, как рубки прочистки и прореживания, обрезка ветвей и внесение удобрений, имеется возможность сократить расходы за счет получения дополнительного продукта. Планирование работ и их корректировка должны проводиться на основе построения экономически эффективных цепочек мероприятий [40]. Рубки ухода необходимы для формирования высокопродуктивных насаждений из целевых древесных пород [33, 64, 65, 73], поддержания древостоя на максимуме текущего прироста и улучшения его товарной структуры [40]. Качественное и своевременное их выполнение позволяет повысить размер пользования древесиной с единицы лесной площади и является серьезным дополнительным источником древесного сырья [46]. Активно исследовалось влияние прореживания на рост деревьев в чистых насаждениях сосны обыкновенной и качество получаемой древесины [13, 20, 45, 91, 93, 94, 127, 137, 143]. Значительное внимание уделялось выработке критериев оценки эффективности мероприятий. Воздействие прореживания на состояние и продуктивность насаждения оценивали по изменению площади поперечного сечения стволов, сухой массы, содержанию углерода и азота. Влияние на биологическую устойчивость характеризовали показателем жизненного состояния. Для оценки общего состояния растения и его энергетического баланса при оптимизации параметров разреживания в качестве информативного показателя предлагается использовать интенсивность дыхания корней [30]. Объективным критерием для установления возраста проведения последующих приемов рубок может рассматриваться текущий прирост по диаметру [33].

Показано, что прирост товарного объема не уменьшался со снижением плотности насаждений в широком диапазоне [99, 134]. Прореживание способствовало росту оставшихся деревьев за счет снижения конкуренции за ресурсы благодаря увеличению размеров кроны, массы листвы у оставшихся деревьев, повышению ее фотосинтетической способности в условиях улучшения освещенности нижней части кроны [85, 121, 143]. Оптимизацией почвенно-светового ресурса можно значительно повысить продуктивность сосняков [32]. Разреживание может влиять на рост деревьев за счет микроклиматических условий. Изменение характеристик, определяющих качество древесины, косвенно контролируется размером, распределением и эффективностью листовых органов [121]. Большинство прореживаний, как правило, способствует развитию кроны в начале сезона, что обеспечивает увеличение ширины годичных колец, доли ранней древесины и переходных трахеид в годичном кольце. В некоторых ситуациях прореживание может также повысить продуктивность хвой и сезонную продолжительность формирования древесины [121]. Отмечено снижение риска верхового пожара благодаря уменьшению объемной плотности полога в результате интенсивного разреживания [91].

Чтобы оптимизировать качественные характеристики формирующихся стволов в молодняке, необходимо найти оптимальный баланс между достаточной скоростью роста ствола и степенью увеличения диаметра кроны, содействовать самоочищению или проводить искусственную обрезку живых ветвей, обеспечивать оптимальный режим питания [121].

При экстенсивном ведении лесного хозяйства на Европейском Севере рубки ухода проводятся в недостаточных объемах [73]. Одна из основных причин – ограниченный сбыт древесины от рубок ухода. При этом возможность использования образующейся древесной зелени практически не рассматривается.

Древесная зелень от обрезки живых ветвей. Помимо рубок ухода, к некоммерческим мероприятиям по уходу за лесом, в процессе которых образуется древесная зелень, можно отнести искусственную обрезку сучьев и ветвей, уход за опушками. Обрезку в целях повышения качества стволов проводят в молодых сосновых насаждениях [134]. В результате обрезки живых ветвей (зеленой обрезки) протяженность кроны в вертикальном направлении снижается, большая часть ствола оказывается свободной от ветвей. Уменьшение кроны приводит к временному подавлению роста, но вскоре нижние ветви у нового основания кроны становятся крупнее и растут энергичнее. При интенсивной обрезке радиальный рост у основания ствола замедляется, а уровень, на котором образуются кольца максимальной ширины, смещается вверх к новому основанию кроны. Наблюдается снижение сбежистости ствола. Одновременно с этими изменениями в ширине годичного кольца доля поздней древесины и плотность увеличиваются в нижней части ствола [121].

У молодых деревьев в годичных кольцах, расположенных ниже основания новой кроны, обрезка способствует ускорению перехода от ювенильной к зрелой древесине. Во многом реакция дерева на обрезку живых ветвей противоположна реакции на прореживание. Как и при прореживании, эффекты обычно кратковременны. Картина роста возвращается к исходной в течение нескольких лет. Зеленая обрезка является трудоемкой и относительно дорогой процедурой [121]. Обрезку сучьев и веток применяют для улучшения качества

ствола, увеличения стоимости пиловочника. При интенсивном ведении лесного хозяйства она считается необходимой мерой ухода за лесом, примером выгоды капиталовложений [19, 86]. Обрезка значительно понижает сучковатость, являющуюся одним из главных сортоопределяющих пороков древесины. Сучки затрудняют обработку древесины, изменяют ее механические свойства [6]. При анализе сортообразующих пороков в партиях поставок сосны из среднетаежной подзоны Карелии установлено, что одним из основных видов пороков, понижающих сортность поступивших лесоматериалов, наряду с кривизной и гнилью, являются крупные сучья [57]. Практика лесопиления показывает, что наличие крупных сучьев значительно снижает сортность древесины и стоимость конечной продукции, а следовательно, и ее конкурентоспособность на рынке. В целях увеличения бессучковой зоны в нижней части ствола рекомендуется повышать возраст рубки, что еще увеличит срок окупаемости данного лесоводственного мероприятия. Заготовка и использование образующейся древесной зелени позволила бы сократить расходы на его проведение.

Удобрения и комплексные уходы

Общую оценку зависимости качества древесины хвойных от внесения удобрений дать не просто из-за большого количества влияющих факторов. Довольно сложно сравнивать результаты, полученные в разных лесорастительных условиях и разных регионах исследований. В экспериментах наблюдали как быструю и значительную реакцию на удобрения, так и менее выраженную или даже полное ее отсутствие [88, 92, 124, 148].

Исследования, связанные с ролью азота в лесном биогеоценозе, стали одним из основных направлений лесной науки со второй половины XX в. Результаты ранних экспериментов с использованием сельскохозяйственных удобрений в хвойных насаждениях оказались очень многообещающими [88, 106]. Во всем мире активно изучались биогеохимия этого часто лимитирующего элемента питания, воздействие азотных удобрений на рост лесных культур. Было проведено множество экспериментов по влиянию азотных удобрений на рост сосны на минеральных почвах [87, 100, 131, 148, 152, 155, 157]. Эти исследования включали внесение удобрений как однократно [39], так и многократно, с интервалами [17, 67, 110, 113, 114, 118, 128, 140] или ежегодно [106, 107, 135, 152]. У сосны удобрения усиливали рост хвои и увеличивали ее биомассу, активизировали митотическую деятельность камбия, повышали продуктивность [38]. Увеличение массы хвои особенно проявлялось через 2-3 года [148]. Росту в целом и развитию кроны внесение удобрений способствует, но у хвойных растений увеличение радиального прироста часто связывают с уменьшением плотности древесины [2], причем наиболее выражено это проявляется в нижней части ствола [131]. В настоящее время активно изучается влияние экзогенных факторов на плотность древесины [74]. По данным [121], процент поздней древесины в годичном кольце может быть сохранен, несмотря на рост ширины годичного кольца, благодаря увеличению массы листвы, эффективности фотосинтеза и продолжительности периода вегетации, происходящему в результате внесения удобрений. При некоторых обстоятельствах повышенная эффективность фотосинтеза может значительно увеличивать толщину клеточных стенок трахеид поздней древесины [121]. Разрабатываются прогностические модели, отражающие реакцию роста древесных растений

на удобрения, для расчета рентабельности лесохозяйственных мероприятий, а также оценки их воздействия на поглощение углерода лесной экосистемой в целях последующего определения приоритетности инвестиций [151].

Внесение на 1 га соснового насаждения в южной части Швеции 150 кг азота в форме нитрата аммония (NH_4NO_3) приводило к увеличению роста ствола сосны [148]. При такой дозе азота дополнительный прирост древесины сосны обыкновенной мог достигать $15 \text{ м}^3/\text{га}$, обеспечивая экономическую отдачу от инвестиций более 10 % в год [114]. Наиболее выраженное влияние азотных удобрений на рост сосны наблюдали в первые 5–10 лет после внесения, но незначительное воздействие сохранялось и в более отдаленные сроки [88, 101, 140]. Общая тенденция в долгосрочной перспективе, через 14–28 лет после внесения азотных удобрений, была положительной. При расчете индекса эффективности удобрений с точки зрения закрепления углерода обнаружено, что добавление азота в количестве 600...1800 кг/га способствовало дополнительному накоплению сосной обыкновенной около 30 кг углерода на 1 кг азота [88, 110].

Хорошая обеспеченность азотом может приводить к дефициту других элементов питания [107, 135], разбалансированности в обеспеченности фосфором и последующему ограничению интенсивности фотосинтеза [153]. Отмечалось снижение положительного влияния азотных удобрений на рост хвойных растений при их сочетании с известковыми материалами [148]. Предполагается, что это было вызвано дефицитом бора, так как появление характерных для него морфологических признаков (нарушение верхушечного роста, гибель вершин, снижение его концентрации в хвое сосны) наблюдали в экспериментах с применением извести [148].

Признаки дефицита бора при известковании были отмечены у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) в Скандинавии и сосны скрученной (*Pinus radiata* D. Don) в Новой Зеландии [90, 108, 129]. Они становились менее выраженными у этих видов при применении только борного удобрения или в комбинации его с азотом. Одним из наиболее очевидных эффектов от внесения азотных удобрений было увеличение концентрации азота в хвое в течение нескольких лет после воздействия [107, 113].

В 70–80-х гг. XX в. большое внимание было уделено вопросу о возможности избыточного поступления азота в лесные экосистемы. Приводятся примеры ингибирования роста древесных растений, увеличения доли отпада при воздействии высокими дозами азотных удобрений [124]. В рамках Международной совместной программы по оценке и мониторингу воздействия загрязнения воздуха на леса (ICP Forests) исследовали взаимосвязь между ростом древостоя и осаждением азота по информации, получаемой с сети участков на большей части Европы [92]. Положительное влияние азотных удобрений было выявлено на фоне низких уровней осаждения азота, не превышающих 10 кг/га в год. Абсолютный прирост леса был нелинейно связан с осаждением азота. Интенсификацию роста под действием азота наблюдали на почвах с низким содержанием элементов питания в отличие от почв с высоким их уровнем [92].

Конкуренция за свет, воду и питательные вещества влияет на показатели роста древесных растений. Для предотвращения чрезмерной конкуренции между деревьями проводят некоммерческие рубки (прореживание), сохраняя при этом достаточное количество деревьев в насаждении, гарантирующее высокую

продуктивность участка [92, 154, 159], а оптимизацию уровня обеспеченности элементами питания деревьев осуществляют внесением минеральных удобрений [144]. При совместном проведении эти мероприятия могут вызвать рост продуктивности, а также оказать значительное влияние на качество как насаждения в целом, так и отдельных деревьев в нем [94, 127, 146, 154].

Более высокие темпы роста могут приводить к более низкой плотности древесины доминирующих деревьев, чем у деревьев того же возраста с угнетенным ростом, что необходимо учитывать при планировании лесоводственных мероприятий [139, 147]. Поскольку результаты такого комплекса воздействий могут иметь большое практическое значение, были проведены подробные исследования свойств древесины, образующейся после его осуществления [111, 123, 126, 130, 131, 139, 154]. Увеличение радиального прироста у хвойных растений как результат внесения удобрений обычно ассоциируется с уменьшением плотности древесины, хотя литературные данные относительно влияния прореживания, обрезки и внесения удобрений на качество древесины имеют противоречивый характер [123, 131]. Показано, что комбинированное прореживание и внесение удобрений увеличивают общее производство сухого вещества на дерево в большей степени, чем суммарные эффекты обработок, применяемых по отдельности [156].

Оценка запаса древесной зелени

Лесное ресурсоведение требует точного подхода к изучению ресурсного потенциала, количественных и качественных характеристик надземной фитомассы древостоев в связи с лесорастительными условиями [7]. Необходимо выявление аллометрических закономерностей, получение информации о биомассе древостоя по компонентам дерева [145]. Хотя имеется огромное количество данных о продуктивности лесных насаждений, в основном это касается стволовой биомассы – наиболее экономически ценной части, в то время как другие наземные компоненты биомассы часто не учитываются [115]. Анализ множества эмпирических моделей, отражающих аллометрические зависимости и построенных для оценки биопродуктивности леса на основе данных относительно объемов стволовой древесины и биомассы преимущественно надземных компонентов дерева, проведен для основных лесобразующих видов Европы [164]. Выявление таких зависимостей необходимо для устойчивого планирования использования лесных ресурсов.

Большой объем данных относительно биомассы хвои и ветвей, более динамичного показателя, чем стволовой компонент биомассы, получен при проведении работ по оценке запаса углерода в надземной лесной экосистеме в долгосрочном аспекте [115, 116, 141]. В результате многочисленных исследований установлен ряд закономерностей в накоплении хвойной массы сосны обыкновенной [5, 8, 22, 34, 36, 76, 115, 116, 122, 158]. В опубликованных данных отражена зависимость накопления и распределения надземной биомассы от возраста насаждения, климатических условий, наличия питательных веществ [138, 142, 160]. Из-за различий в условиях произрастания может по-разному происходить формирование во времени распределения биомассы и аллометрии деревьев на различных участках [115, 125, 142, 158]. Большая часть эмпирических уравнений, описывающих надземную биомассу, построена для приспевающих и спелых насаждений, но в ряде исследований приводится информация относительно распределения надземной биомассы в

молодняках сосны обыкновенной, что необходимо для оценки запасов древесной зелени, пригодной к заготовке в качестве обогащенного биологически активными веществами растительного сырья.

Принцип безотходной переработки древесной зелени

Совершенствуются технологии лесозаготовки, лесопиления, ведения лесного хозяйства. Комплексная переработка лесных ресурсов предполагает развитие технологий максимально полного использования биомассы дерева, сокращения количества отходов [4, 16, 44, 63]. В последнее время во многих отраслях промышленности значительные усилия направляются на снижение зависимости от топлива и продуктов на основе нефти [150]. Рост производства пластмасс в различных сферах жизни привел к огромным проблемам с утилизацией пластиковых отходов, стала очевидной необходимость разработки новых, экологически чистых материалов. Экономически эффективна разработка композитов на основе натуральных волокон в качестве армирующего материала. Использование натуральных волокон, являющихся возобновляемыми, биоразлагаемыми материалами, активно возрождается [89, 119, 132]. В ряде исследований показано, что полученные из сосновой хвои натуральные волокна могут применяться в качестве армирующего материала в различных композитах, в том числе полимерных [104, 105, 149, 150]. Быстро растущий спрос на бумагу и картон привлек пристальное внимание к недревесным волокнистым материалам, в частности хвое сосны, для производства целлюлозы [120].

При изыскании новых технологий и совершенствовании известных способов рационального использования древесной фитомассы рассматривается техническая возможность применения отходов, полученных после извлечения водорастворимого L-аргинина из древесной зелени сосны обыкновенной, в качестве сырья для изготовления теплоизоляционных плит [29, 51]. С экологической точки зрения важной особенностью способа извлечения L-аргинина из предварительно измельченной хвои является использование воды в качестве экстрагента. Для получения предложенного материала специальной предварительной подготовки сосновой хвои не требуется, поскольку в процессе экстрагирования водорастворимого L-аргинина разрушается восковой покров, а частицы хвои частично дефибрируются, образуя экологически чистые отходы [29]. Кроме L-аргинина, получают отходы – тонкие волокна с большим отношением длины к толщине, пригодные для производства теплоизоляционных строительных материалов [29]. Совершенствование и внедрение технологии производства подобных продуктов соответствует принципу безотходной переработки древесной зелени.

Заключение

Разработка технологий использования древесной зелени является звеном многоцелевого освоения всей фитомассы, продуцируемой лесными растительными сообществами. Повышение рентабельности лесоводственных мероприятий (рубки ухода, обрезка сучьев, внесение удобрений), проводимых в молодняках и средневозрастных древостоях, можно осуществлять путем переработки образующейся древесной зелени. Использование древесной зелени, получаемой при расчистке трасс ЛЭП, позволит сократить расходы по их обслуживанию, сделать процесс максимально экономичным, ресурсосберегающим.

Высокая нутриентная ценность хвои подтверждена практикой животноводства, ее востребованность в фармакологии показана в историческом аспек-

те. Перспективной является технология повышения содержания свободных аминокислот и целевое изменение их количественного соотношения в древесной зелени путем регуляции режима минерального питания, модифицирующего биопродуцентную направленность. L-аргинин играет важную роль в жизнедеятельности животных организмов и активно используется в производстве продуктов фармацевтического и нутриентного назначения. Технология целенаправленного изменения химического состава и фармакологических свойств растительного сырья из древесных растений позволит осваивать новые сырьевые источники БАВ. Оптимизация эффективности использования азота поможет совершенствовать условия культивирования хвойных, избегать негативных экономических и экологических последствий от чрезмерного внесения азотных удобрений в лесном хозяйстве. Построение специально разработанной последовательности лесохозяйственных мероприятий даст возможность получать хвою, обогащенную L-аргинином, как в процессе осуществления различных видов использования лесов, так и при проведении мероприятий, направленных на повышение продуктивности лесов, сохранение их полезных функций. В целях реализации принципа максимальной безотходности производства рассматривается техническая возможность использования отходов после извлечения водорастворимого L-аргинина из древесной зелени сосны обыкновенной в качестве сырья для изготовления теплоизоляционных плит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алаудинова Е.В., Миронов П.В. Свободные аминокислоты вегетативных органов *Picea obovata* L. и *Pinus sylvestris* L. // Химия раст. сырья. 2017. № 3. С. 85–91. [Alaudinova E.V., Mironov P.V. Free Amino Acids of the Vegetative Organs of *Picea obovata* L. and *Pinus sylvestris* L. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw material], 2017, no. 3, pp. 85–91]. DOI: [10.14258/jcprm.2017031763](https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031763)
2. Антонов А.М. Изменчивость макростроения древесины сосны, выращенной с применением удобрений // Вестн. КрасГАУ. 2015. № 1. С. 179–183. [Antonov A.M. The Wood Macrostructure Variability of the Pine Grown with the Fertilizer Use. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2015, no. 1, pp. 179–183].
3. Антонов О.И. Повышение качественной продуктивности насаждений – задача интенсивного лесного хозяйства // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 1. С. 86–94. [Antonov O.I. Qualitative Productivization of Forest Stands is the Goal of Intensive Forestry. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 1, pp. 86–94]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.1.86](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.1.86), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/63f/antonov.pdf>
4. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н. Запасы энергии в культурах сосны // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 1. С. 38–41. [Babich N.A., Klevtsov D.N. Reserve of Energy in Pine Cultures. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 1, pp. 38–41].
5. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны. Архангельск: Изд-во САФУ, 2010. 140 с. [Babich N.A., Klevtsov D.N., Evdokimov I.V. *Zonal Patterns of Change in the Pine Phytomass*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2010. 140 p.].
6. Бабич Н.А., Мелехов В.И., Антонов А.М., Клевцов Д.Н., Коновалов Д.Ю. Влияние условий местопроизрастания на качество древесины сосны (*Pinus sylvestris* L.) в посевах // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 1. С. 54–58. [Babich N.A., Melikhov V.I., Antonov A.M., Klevtsov D.N., Konovalov D.Yu. The Influence of Site Conditions on the Quality of Pine Wood (*Pinus sylvestris* L.) in Plantings. *Hvojnye boreal'noj zony* [Conifers of the boreal area], 2007, vol. 24, no. 1, pp. 54–58].

7. Бабич Н.А., Мерзленко М.Д., Евдокимов И.В. Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России. Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 2004. 108 с. [Babich N.A., Merzlenko M.D., Evdokimov I.V. *Phytomass of Pine and Spruce in European Russia*. Arkhangelsk, Severo-Zapadnoye knizhnoye izdatel'stvo, 2004. 108 p.].

8. Бальков Н.Г., Виликайнен Л.М., Робонен Е.В., Смирнов А.В. Распределение фитомассы в сосняке лишайниковом // Лесоведение. 1989. № 6. С. 57–63. [Balykov N.G., Vilikainen L.M., Robonen E.V., Smirnov A.V. Phytomass Distribution in Lichen Pine Forest. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1989, no. 6, pp. 57–63].

9. Беззубов А.Д. Витамины для блокадного Ленинграда // Химия и жизнь. 1985. № 1. Режим доступа: http://www.infran.ru/vovenko/60years_wv2/vita_blokada.htm (дата обращения: 30.12.19). [Bezzubov A.D. Vitamins for Besieged Leningrad. *Khimiya i zhizn'*, 1985, no. 1].

10. Берестов В.А., Петрова Г.Г., Изотова С.П. Использование древесной зелени в промышленном звероводстве и кролиководстве. Л.: Колос. Ленингр. отделение, 1982. 96 с. [Berestov V.A., Petrova G.G., Izotova S.P. *The Use of Woody Greens in Industrial Fur Breeding and Rabbit Breeding*. Leningrad, Kolos Publ., 1982. 96 p.].

11. Борисов А.Ю. Древесина осины как материал для устройства кровли // Уч. зап. ПетрГУ. 2014. Т. 1, № 8. С. 87–90. [Borisov A.Yu. Aspen Wood as Roof Construction Material. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University], 2014, no. 8, vol. 1, pp. 87–90].

12. Борисов А.Ю., Колесников Г.Н. Особенности заготовки древесины осины и использование отходов ее переработки на складах лесозаготовительных предприятий // Современ. проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 244–250. [Borisov A.Yu., Kolesnikov G.N. Harvesting Features of Aspen Timber and Processing of Wood Waste to the Landing Logging Companies. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 1-1, pp. 244–250].

13. Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С. Реакция средневозрастных сосняков на рубки ухода // Изв. вузов. Лесн. журн. 2009. № 1. С. 28–33. [Buzykin A.I., Pshenichnikova L.S. Response of Middle-Aged Pineries to Cleaning Cutting. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2009, no. 1, pp. 28–33]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/a53/a53089e829e0519a2e7e3b20dca514b2.pdf>

14. Букварева Е., Замолодчиков Д., Грюневальд К. Экосистемные услуги ландшафтов России // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: моногр. В 5 т. / под ред. В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: Всерос. НИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2018. С. 57–61. [Bukvareva E., Zamolodchikov D., Gryuneval'd K. Ecosystem Services of Russian landscapes. *Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia*: Monograph. In 5 vol. Ed. by V.G. Sychev, L. Muller. Moscow, SBSI «Pryanishnikov Institute of Agrochemistry» Publ., 2018, pp. 57–61]. DOI: [10.25680/4053.2018.30.99.006](https://doi.org/10.25680/4053.2018.30.99.006)

15. Васильев С.Н., Роцин В.И., Ягодин В.И. Экстрактивные вещества древесной зелени *Pinus sylvestris* L. // Раст. ресурсы. 1995. Т. 31, вып. 2. С. 79–119. [Vasil'yev S.N., Roshchin V.I., Yagodin V.I. Extractive Substances of *Pinus sylvestris* L. Woody Greens. *Rastitelnye Resursy*, 1995, vol. 31, iss. 2, pp. 79–119].

16. Гаврилов Т.А., Евстигнеев В.Д., Зайцева М.И., Колесников Г.Н., Никонова Ю.В. Применение отходов лесопиления для очистки поверхностных стоков на объектах транспортной инфраструктуры // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2018. Т. 22. № 2. С. 87–94. [Gavrilov T.A., Evstigneev V.D., Zaytseva M.I., Kolesnikov G.N., Nikonova Yu.V. The Use of Wood Sawdust for Treatment of Surface Runoff on the Transport Infrastructure. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2018, vol. 22, no. 2, pp. 87–94]. DOI: [10.18698/2542-1468-2018-2-87-94](https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-2-87-94)

17. Гаврилова О.И., Кищенко И.Т. Влияние минеральных удобрений на рост культур сосны обыкновенной на песчаных почвах южной Карелии // Изв. вузов. Лесн. журн. 2003. № 1. С. 28–33. [Gavrilova O.I., Kishchenko I.T. Influence of Mineral Fertilizers on Scots Pine Growth on South Karelia Sand Soils. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry

Journal], 2003, no. 1, pp. 28–33]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/39c/39c4fd9e098303207e6431b88d82373b.pdf>

18. Гелес И.С., Коржова М.А. Ресурсы промежуточного пользования лесом и некоторые направления их использования // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2008. № 2. С. 10–15. [Gueles I.S., Korzhova M.A. Resources of Intermediate Forest Utilization and Some of Their Potential Uses. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2008, no. 2, pp. 10–15].

19. Гурьянов М.О., Антонов О.И. Влияние обрезки ветвей в культурах ели на форму комлевой части ствола // Изв. СПбЛТА. 2015. Вып. 210. С. 37–46. [Guryanov M.O., Antonov O.I. Influence of Pruning in Spruce Plantations on a Form of Butt Length of Trees. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2015, iss. 210, pp. 37–46].

20. Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода различной интенсивности на состояние естественных сосняков // Науч. вед. Белгор. гос. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 18(239). Вып. 36. С. 32–38. [Dancheva A.V., Zalesov S.V. The Effect of Thinning on the State of Natural Pine Forests. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki* [Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences], 2016, no. 18(239), iss. 36, pp. 32–38].

21. Дмитроченко А.П., Пшеничный П.Д. Кормление сельскохозяйственных животных. Л.; М.: Сельхозиздат, 1961. 528 с. [Dmitrochenko A.P., Pshenichnyy P.D. *Feeding Livestock*. Leningrad, Sel'khozizdat Publ., 1961. 528 p.].

22. Евдокимов И.В. Особенности формирования надземной фитомассы в культурах сосны (На примере Архангельской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск: 2003. 19 с. [Evdokimov I.V. *Features of the Aboveground Phytomass Formation in Pine Plantations (Case Study of Arkhangelsk Region)*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2003. 19 p.].

23. Егорова А.В. Влияние экстрактов из древесной зелени и водопроводного осадка в качестве компонента субстрата на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2019. 21 с. [Egorova A.V. *The Effect of Extracts Made of Woody Greens and Sludge as a Substrate Component on Seed Germination and Growth of Scots Pine Seedlings*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, 2019. 21 p.].

24. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В. Влияние хвойного препарата на рост и элементный состав сеянцев *Pinus sylvestris* L. в условиях лесного питомника. // Химия раст. сырья. 2017. № 2. С. 171–180. [Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. Effects of Application of a Conifer-Derived Chemical on the Growth and Elemental Composition of *Pinus Sylvestris* L. Seedlings in a Forest Nursery. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw material], 2017, no. 2, pp. 171–180]. DOI: [10.14258/jcprm.2017021720](https://doi.org/10.14258/jcprm.2017021720)

25. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Зайцева М.И. Способ получения водных экстрактов из листьев ивы козьей с учетом суточной динамики их биологической активности для повышения всхожести семян сосны обыкновенной // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 5. С. 394–400. [Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Zaytseva M.I. The Technique of Water Extract Preparation from Goat Willow Leaves with Allowance for Circadian Rhythm of Their Biological Activity to Stimulate Scots Pine Seed Germination. *Fiziologiya rastenij* [Russian Journal of Plant Physiology], 2019, vol. 66, no. 5, pp. 394–400]. DOI: [10.1134/S0015330319040031](https://doi.org/10.1134/S0015330319040031)

26. Жукова А.И., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Ледяева А.С. Лесное ресурсо-ведение: СПб.: СПбГЛТА, 2008. 213 с. [Zhukova A.I., Grigorev I.V., Grigoreva O.I., Ledyayeva A.S. *Forest Resource Management*. Saint Petersburg, SPbGLTA Publ., 2008. 213 p.].

27. Журавлева Л.Н. Переработка древесной зелени хвойных с использованием сжиженных углеводородов: дис. ... канд. техн. наук: Красноярск, 2005. 145 с. [Zhuravleva L.N. *Processing of Coniferous Woody Greens Using Liquefied Hydrocarbons*: Cand. Eng. Sci. Diss. Krasnoyarsk, 2005. 145 p.].

28. Зайцева М.И., Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П. Использование порубочных остатков для приготовления торфяных субстратов при выращивании сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2010. № 1. С. 4–8. [Zaitseva M.I., Robonen E.V., Chernobrovkina N.P. Utilization of Logging Residues in Preparation of Peat Substrates for Closed Root Growing of Scots Pine Seedlings. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2010, no. 1, pp. 4–8].

29. Зайцева М.И., Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Колесников Г.Н. Утилизация отходов переработки хвои сосны обыкновенной // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. ПетрГУ (23–28 июня 2013 г.). Петрозаводск: Петропресс, 2013. С. 25–30. [Zaitseva M.I., Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Kolesnikov G.N. Recycling of Pine Needles Processing Wastes. *Wooden Low-Rise Housing Construction: Economics, Architecture and Resource-Saving Technologies: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference (June 23–28, 2013) of PetrSU*. Petrozavodsk, Petroppress Publ., 2013, pp. 25–30].

30. Зарубина Л.В., Коновалов В.Н. Влияние прореживания и азота на сезонную динамику дыхания корней сосны и ели // Изв. вузов. Лесн. журн. 2016. № 1. С. 100–114. [Zarubina L.V., Konovalov V.N. Impact of Thinning and Nitrogen on Seasonal Dynamics of Pine and Spruce Root Respiration. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2016, no. 1, pp. 100–114]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2016.1.100](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.1.100), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/260/zarubina.pdf>

31. Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Козлов А.Ф., Быков Е.Н., Софронова Г.И. Древесная зелень – важная кормовая добавка. Петрозаводск: Карелия, 1984. 38 с. [Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Kozlov A.F., Bykov E.N., Sofronova G.I. *Wood Greenery is an Important Feed Supplement*. Petrozavodsk, Karelia Publ., 1984. 38 p.].

32. Иванов В.В., Борисов А.Н., Петренко А.Е. Влияние густоты древостоя на формирование кроны и рост по диаметру сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 3. С. 9–16. [Ivanov V.V., Borisov A.N., Petrenko A.E. Influence of Stand Density on Crown Formation and Growth along the Diameter of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 9–16]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2019.3.9](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.3.9), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/19e/9_16.pdf

33. Ильинцев А.С., Третьяков С.В., Коптев С.В., Федотов И.В., Ершов Р.А. Текущий прирост по диаметру в насаждениях, пройденных рубками ухода прореживанием // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 6. С. 66–74. [Il'intsev A.S., Tret'yakov S.V., Koptev S.V., Fedotov I.V., Ershov R.A. The Current Radial Increment in the Forest Stands after the Improvement Thinning. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2015, no. 6, pp. 66–74]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2015.6.66](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2015.6.66), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/459/ilintsev.pdf>

34. Кайбияйнен Л.К., Хари П., Сазонова Т.А., Мякеля А. Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. III. Площадь проводящей ксилемы и масса хвои // Лесоведение. 1986. № 1. С. 31–37. [Kaibiyainen L.K., Khari P., Sazonova T.A., Myakelya A. Balance of Water Transport in *Pinus sylvestris* L. III. Conducted Xylem Area and Needles Amount. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1986, no. 1, pp. 31–37].

35. Касимов Д.В., Касимов В.Д. Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования: моногр. М.: Мир науки, 2015. 91 с. [Kasimov D.V., Kasimov V.D. *Some Approaches to the Assessment of Ecosystem Functions (Services) of Forest Stands in Environmental Management Practice*. Moscow, Mir nauki Publ., 2015. 91 p.].

36. Клевцов Д.Н. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ахангельск, 2008. [Klevtsov D.N. *Zonal Patterns of Change in the Pine Phytomass*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Akhangelsk, 2008].

37. Колесников Г.Н., Кантышев А.В., Зайцева М.И., Гаверилов Т.А., Никонова Ю.В. Конвективная сушка осиновых заготовок малой толщины: модель и эксперименты // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2019. Т. 23, № 3. С. 87–94. [Kolesnikov G.N., Kantyshev A.V., Zaitseva M.I., Gavrilov T.A., Nikonova Yu.V. Convective Seasoning of Small Thickness Aspen Workpieces: Model and Experiments. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2019, vol. 23, no. 3, pp. 87–94]. DOI: [10.18698/2542-1468-2019-3-87-94](https://doi.org/10.18698/2542-1468-2019-3-87-94)

38. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах: моногр. Архангельск: САФУ, 2011. 338 с. [Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ecological and Physiological Features of Conifers on Fertilized Soils*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2011. 338 p.]

39. Коновалов В.Н., Садкова А.Н., Зарубина Л.В. Биология и рост сосны обыкновенной в северотаежных фитоценозах. Архангельск: САФУ, 2017. 175 с. [Konovalov V.N., Sadkova A.N., Zarubina L.V. *Biology and Growth of Scots Pine in Northern Taiga Phytocenoses*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2017. 175 p.]

40. Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов. СПб.: СПбНИИЛХ, 2015. 20 с. [*The Framework of Intensive Use and Regeneration of Forests*. Saint Petersburg, SPbNIIKH Publ., 2015. 20 p.]

41. Короткий В.П., Великанов В.И., Богданович Н.И., Роцин В.И., Водопьянов И.Ф., Чечет И.В. Разработка новых технологий получения лекарственных форм для ветеринарной медицины на основе живицы сосновой // Изв. вузов. Лесн. журн. 2012. № 5. С. 125–133. [Korotky V.P., Velikanov V.I., Bogdanovich N.I., Roshchin V.I., Vodopyanov I.F., Chechet I.V. Development of New Techniques to Produce Pine Resin-Based Drags for Veterinary Medicine. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2012, no. 5, pp. 125–133]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/720/X2.pdf>

42. Лесной план Республики Карелия на 2019–2028 гг. Петрозаводск, 2018. 22 с. [*Forest Plan of the Republic of Karelia for 2019–2028*. Petrozavodsk, 2018. 22 p.]

43. Логинов А.А., Лыков И.Н., Васильева М.А. Укрупненная оценка стоимости экосистемных услуг леса // Проблемы региональной экологии. 2018. № 3. С. 120–124. [Loginov A.A., Lykov I.N., Vasilyeva M.A. The Integrated Assessment of the Value of Forest Ecosystem Services. *Problemy regional'noy ekologii* [Regional Environmental Issues], 2018, no. 3, pp. 120–124]. DOI: [10.24411/1728-323X-2018-13120](https://doi.org/10.24411/1728-323X-2018-13120)

44. Макаров С.В. Многоцелевое использование лесного потенциала в контексте инновационной стратегии развития российской экономики // Вестн. Финансового ун-та. 2009. № 6. С. 43–47. [Makar S.V. Multipurpose Usage of the National Forest Potential in the Context of Innovative Strategy of Russian Economic Development. *Vestnik Finansovogo universiteta*. [The Bulletin of the Financial University], 2009, no. 6, pp. 43–47].

45. Малаховец П.М. Лесные культуры: Архангельск: САФУ, 2012. 222 с. [Malahovets P.M. *Forest Crops*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2012. 222 p.]

46. Мошников С.А., Ананьев В.А., Матюшкин В.А. Особенности аккумуляции порубочных остатков в спелых сосняках средней тайги (на примере Республики Карелия) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 1. С. 40–51. [Moshnikov S.A., Anan'yev V.A., Matyushkin V.A. Accumulation Features of Debris in Mature Pine Forests of Middle Taiga in the Republic of Karelia. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 1, pp. 40–51]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2019.1.40](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.1.40), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/0fb/40_51.pdf

47. Немова В.И. Совершенствование комплексного лесопользования в России на региональном уровне // Тренды и управление. 2017. № 3. С. 33–59. [Nemova V.I. Mechanisms to Enhance Integrated Forest Management Concept of Forest Resources Use in Russia. *Trendy i upravleniye* [Trends and management], 2017, no. 3, pp. 33–59]. DOI: [10.7256/2454-0730.2017.3.24161](https://doi.org/10.7256/2454-0730.2017.3.24161)

48. Новицкая Ю.Е., Чикина П.Ф. Азотный обмен у сосны на Севере. Л.: Наука, 1980. 166 с. [Novitskaya Yu.E., Chikina P.F. *Nitrogen Exchange in Pine Trees in the North*. Leningrad, Nauka Publ., 1980. 166 p.]

49. Основы лесной биогеоценологии / под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1964. 574 с. [*Fundamentals of Forest Biogeocenology*. Ed. by V.N. Sukachev, N.V. Dylis. Moscow, Nauka Publ., 1964. 574 p.].

50. Патент № 123635 Российская Федерация. Машина для измельчения древесно-кустарниковой растительности на корню: опубл. 10.01.2013 / И.Р. Шегельман, П.В. Будник, Г.Н. Колесников, М.В. Ивашнев [Shegelman I.R., Budnik P.V., Kolesnikov G.N., Ivashnev M.V. *A Machine for Grinding Standing Trees and Shrubs*. Patent RF no. RU 123635 U1, 2013].

51. Патент № 138680 Российская Федерация. Теплоизоляционная древесноволокнистая плита: опубл. 20.03.2014 / М.И. Зайцева, Е.В. Робонен, Г.Н. Колесников, Н.П. Чернобровкина, С.Б. Васильев [Zaitseva M.I., Robonen E.V., Kolesnikov G.N., Chernobrovkina N.P., Vasilev S.B. *Insulating Fiberboard*. Patent RF no. RU 138680 U1, 2014].

52. Патент № 2515015 Российская Федерация. Хвойная биологически активная добавка, обогащенная L-аргинином, для повышения продуктивных качеств курнесушек: опубл. 10.05.2014 / В.П. Короткий, Ю.Н. Прытков, С.С. Марисов, Н.И. Гибалкина, А.А. Кистина, Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен [Korotkiy V.P., Prytkov Ju.N., Marisov S.S., Gibalkina N.I., Kistina A.A., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. *Coniferous Biologically Active Supplement Enriched with L-Arginine to Increase the Productivity Qualities of Laying Hens*. Patent RF no. RU 2515015 C2, 2014].

53. Патент № 2540354 Российская Федерация. Способ кормления пушных зверей: опубл. 10.02.2015 / Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен, Т.Н. Макарова, А.Р. Унжаков, Н.Н. Тютюнник, Л.Б. Узенбаева, И.В. Баишникова [Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Makarova T.N., Unzhakov A.R., Tjutjunnik N.N., Uzenbaeva L.B., Baishnikova I.V. *Method of Feeding Fur-Bearing Animals*. Patent RF no. RU 2540354 C1, 2015].

54. Патент № 2623479 Российская Федерация. Способ выращивания сеянцев сосны обыкновенной: опубл. 26.06.2017 / М.И. Зайцева, С.Б. Васильев, Е.В. Робонен, П.В. Луньков, Г.Н. Колесников [Zajtseva M.I., Vasilev S.B., Robonen E.V., Lunkov P.V., Kolesnikov G.N. *Method for Growing Seedlings of Scots Pine*. Patent RF no. RU 2623479 C2, 2017].

55. Патент № 2662999 Российская Федерация. Способ получения стимулятора роста сосны обыкновенной: опубл. 31.07.2018 / А.В. Егорова, Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен [Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. *Method of Obtaining Growth Stimulator for Scots Pine*. Patent RF no. RU 2662999 C1, 2018].

56. Патент № 2688483 Российская Федерация. Способ пропитки древесины: опубл. 21.05.2019 / А.В. Кантышев, А.Ю. Борисов, Г.Н. Колесников, Т.А. Гаврилов. [Kantyshev A.V., Borisov A.Yu., Kolesnikov G.N., Gavrilov T.A. *Method of Wood Impregnation*. Patent RF no. RU 2688483 C1, 2019].

57. Пеккоев А.Н., Кононов А.С. Сортообразующие пороки круглых лесоматериалов сосны и ели из подзон северной и средней тайги Карелии // *Resources and Technology*. 2018. Т. 15, № 2. С. 33–44. [Pekkoev A.N., Conanov A.S. Grade Defects of Pine and Spruce Round Wood from the Northern and Middle Taiga of Karelia. *Resources and Technology*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 33–44]. DOI: [10.15393/j2.art.2018.4121](https://doi.org/10.15393/j2.art.2018.4121)

58. Племенков В.В. Природные соединения – основной базис поиска химиотерапевтических субстанций // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы IV Всерос. конф. Барнаул, 21–23 апреля 2009 г.: в 2 кн. / под ред. Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2009. Кн. 2. С. 11–14. [Plemenkov V.V. Natural Compounds – Basic in Searching for Chemotherapeutic Substances. *Advances in Chemistry and Chemical Engineering of Bioorganic Materials: Proceedings of the 4th All-Russian Conference, Barnaul, April 21–23, 2009*. In 2 books. Ed. by N.G. Bazarnova, V.I. Markin. Barnaul, ASU Publ., 2009, book 2, pp. 11–14].

59. Речкина Е.А., Губаненко Г.А., Рубчевская Л.П. Выделение пектиновых веществ из древесной зелени сосны обыкновенной // *Химия раст. сырья*. 2010. № 4.

C. 189–190. [Rechkina E.A., Gubanenko G.A., Rubchevskaya L.P. Isolation of Pectin Substances from Woody Greens of Scots Pine. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw material], 2010, no. 4, pp. 189–190].

60. Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Макарова Т.Н., Короткий В.П., Прытков Ю.Н., Марисов С.С. Накопление L-аргинина в хвое и распределение по кроне сосны обыкновенной при регуляции азотного и борного обеспечения // Изв. вузов. Лесн. журн. 2014. № 3. С. 67–78. [Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Makarova T.N., Korotky V.P., Prytkov Yu.N., Marisov S.S. Accumulation of L-Arginine in Scots Pine Needles and Its Distribution over the Crown Under Regulation of Nitrogen and Boron Supply. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2014, no. 3, pp. 67–78]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/ff7/lkh7.pdf>

61. Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Чернышенко О.В., Зайцева М.И. Источники получения древесной зелени для производства аргининового иммуностимулятора // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 3. С. 11–15. [Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Chernyshenko O.V., Zaitseva M.I. Sources of Foliage for Arginine Immunostimulant Manufacturing. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 3, pp. 11–15].

62. Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Чернышенко О.В., Зайцева М.И., Унжаков А.Р., Егорова А.В. Перспективы биотехнологии обогащения древесной зелени хвойных L-аргинином и ингибиторами его катаболизма // Химия раст. сырья. 2019. № 1. С. 23–37. [Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Chernyshenko O.V., Zaytseva M.I., Unzhakov A.R., Egorova A.V. Perspectives of Wood-Greenery Biotechnology Enrichment with L-Arginine and Inhibitors of Its Catabolism. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw material], 2019, no. 1, pp. 23–37. DOI: [10.14258/jcprm.2019014243](https://doi.org/10.14258/jcprm.2019014243)

63. Сафин Р.Г., Саттарова З.Г., Хабибуллин И.Г., Зиятдинов Р.Р., Степанова Т.О. Современные направления переработки лесных ресурсов // Вестн. Казан. технол. унта. 2015. Т. 18, № 21. С. 90–93. [Safin R.G., Sattarova Z.G., Khabibullin I.G., Ziatdinov R.R., Stepanova T.O. Current Trends in Forest Resources Processing. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2015, vol. 18, no. 21, pp. 90–93].

64. Сеннов С.Н. Влияние рубок ухода на итоговый запас древостоя // Тр. СПбНИИЛХ, 2012. № 1-2. С. 8–10. [Sennov S.N. Effect of Thinning on the Final Growing Stock of Stand. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2012, no. 1-2, pp. 8–10].

65. Синькевич С.М. Влияние рубок ухода на рост сосновых насаждений // Лесоводственно-экологические аспекты хозяйственной деятельности в лесах Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 101–122. [Sin'kevich S.M. Effect of Thinning on the Growth of Pine Stands. *Silvicultural and Ecological Aspects of Economic Activities in Forests of Karelia*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2005, pp.101–122].

66. Славянский А.К., Шарков В.И., Ливеровский А.А., Бувеской А.В., Медников Ф.А., Лямин В.А., Солодкий Ф.Т., Цацка Э.М., Дмитриева О.А., Никандров Б.Ф. Химическая технология древесины. М.: Гослесбумиздат, 1962. 214 с. [Slavyanskiy A.K., Sharkov V.I., Liverovskiy A.A., Buyevskoy A.V., Mednikov F.A., Lyamin V.A., Solodkiy F.T., Tsatska E.M., Dmitriyeva O.A., Nikandrov B.F. *Chemical Technology of Wood*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 214 p.].

67. Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А. Влияние периодического внесения азотных удобрений на качество древесины сосны обыкновенной в культурах // Успехи современного естествознания. 2016. № 11. С. 75–79. [Sokolov A.I., Pekkoiev A.N., Kharitonov V.A. Effect of Regularly Repeated Applications of Nitrous Fertilizers on Timber Quality in Scots Pine Crops. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2016, no. 11, pp. 75–79].

68. Соколов А.П., Сюнев В.С. Логистический подход к обоснованию технологий и параметров процессов комплексного освоения лесосырьевых баз // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 3(35). С. 100–106. [Sokolov A.P., Syuney V.S. Logistic Approach to the Determination of Technologies and Parameters of the Forest Resources Multipurpose Use. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3(35), pp. 100–106]. DOI: [10.18324/2077-5415-2017-3-100-106](https://doi.org/10.18324/2077-5415-2017-3-100-106)

69. Степанов В.И., Мезина Н.А. Отходы лесной промышленности и их использование в национальном хозяйстве // Вестн. РЭУ. 2012. № 3. С. 83–88. [Stepanov V.I., Mezina N.A. Forest Industry Wastes and Their Use in the National Economy. *Vestnik Rossijskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2012, no. 3, pp. 83–88].

70. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г.: распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 г. № 1989-р. М., 1989. 102 с. [*Development Strategy of the Forest Complex of the Russian Federation until 2030. Order of the Government of the Russian Federation No. 1989-p Dated September 20, 2018*. Moscow, 2018. 102 p.].

71. Судаchkova Н.Е., Милютина И.Л., Семенова Г.П. Состав и содержание свободных аминокислот в различных частях и тканях *Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb. и *L. gmelinii* (Rupr.) Rupr // Раст. ресурсы. 2003. Т. 39(1). С. 19–31. [Saduchkova N.E., Milyutina I.L., Semenova G.P. Content and Composition of Free Amino Acids in Different Parts and Tissues of *Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb. and *L. gmelinii* (Rupr.) Rupr. *Rastitelnye Resursy*, 2003, vol. 39(1), pp. 19–31].

72. 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. [Teben'kova D.N., Lukina N.V., Chumachenko S.I., Danilova M.A., Kuznetsova A.I. Gornov A.V., Shevchenko N.E., Kataev A.D., Gagarin Yu.N. Multifunctionality and Biodiversity of Forest Ecosystems. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2019, no. 5, pp. 341–356]. DOI: [10.1134/S0024114819050115](https://doi.org/10.1134/S0024114819050115)

73. Третьяков С.В. Динамика формирования и продуктивность смешанных сосновых древостоев средней подзоны тайги Европейского Севера России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Архангельск, 2011. 43 с. [Tret'yakov S.V. *Formation Dynamics and Productivity of Mixed Pine Stands in the Middle Taiga Subzone of the European North of Russia*: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2011. 43 p.].

74. Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Дроздов И.И., Мелехов В.И. Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 6. С. 56–64. [Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Drozdov I.I., Melekhov V.I. Wood Density of Scots Pine in Different Growth Conditions. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 6, pp. 56–64]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.6.56](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.6.56), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/dc6/Tyukavina.pdf>

75. Унжаков А.Р., Антонова Е.П., Сергина С.Н., Башишникова И.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В. Влияние обогащенного L-аргинином хвойного экстракта на биохимические показатели крови щенков-гипотрофиков норок // Кролиководство и звероводство. 2017. № 3. С. 104–105. [Unzhakov A.R., Antonova E.P., Sergina S.N., Baishnikova I.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. The Influence of Enriched L-Arginine Pine Extract on Biochemical Blood Parameters in Puppies-Hypotrophics Minks. *Krolikovodstvo i Zverovodstvo* [Rabbit and Animal Breeding], 2017, no. 3, pp. 104–105].

76. Усольцев В.А., Часовских В.П., Цепордей И.С. Вертикальная структура фитомассы деревьев сосны обыкновенной: исследование системных связей средствами информационных технологий: моногр. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 436 с. [Usol'tsev V.A., Chasovskikh V.P., Tsepordey I.S. *Phytomass Vertical Structure of Scots Pine Trees: Studying System Connections by Means of Information Technology*: Monograph. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2018. 436 p.].

77. Хуришкайнен Т.В., Скрипова Н.Н., Кучин А.В. Сравнительная оценка экстракционного оборудования для эффективного выделения экстрактивных веществ хвойной древесной зелени // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 25–30. [Hurshkainen T.V., Skripova N.N., Kutchin A.V. Comparative Assessment of Extraction Equipment for Efficient Isolation of Extractives of Coniferous Woody Greenery. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2017, no. 1, pp. 25–30]. DOI: [10.25750/1995-4301-2017-1-025-030](https://doi.org/10.25750/1995-4301-2017-1-025-030)

78. Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В. Содержание азота, бора и аминокислот в хвое сосны обыкновенной при регуляции азотного и борного обеспечения // Тр. КарНЦ РАН. 2015. № 12. С. 35–44. [Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. Nitrogen, Boron and Amino Acid Levels in the Needles of Scots Pine Seedlings with Controlled Nitrogen and Boron Supply. *Trudy KarNTs RAN* [Transactions of KarRC RAS], 2015, no. 12, pp. 35–44]. DOI: [10.17076/eb217](https://doi.org/10.17076/eb217)

79. Чернобровкина Н.П., Дорофеева О.С., Робонен Е.В. Аминокислотный состав хвои сеянцев сосны обыкновенной в связи с обеспеченностью бором // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2009. № 3. С. 56–61. [Chernobrovkina N.P., Dorofeeva O.S., Robonen E.V. Amino Acid Composition in Needles of Scots Pine Seedlings in Relation to Boron Availability. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2009, no. 3, pp. 56–61].

80. Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Зайцева М.И. Накопление L-аргинина в хвое сосны обыкновенной при регуляции азотного и борного обеспечения // Химия раст. сырья. 2010. № 3. С. 71–75. [Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Zaitseva M.I. Accumulation of L-Arginine in Scots Pine Needles while Regulation of Nitrogen and Boron Supply. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2010, no. 3, pp. 71–75].

81. Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Морозов А.К., Макарова Т.Н. Накопление L-аргинина в хвое ели европейской при регуляции азотного и борного обеспечения // Тр. КарНЦ РАН. 2013. № 3. С. 159–165. [Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Morozov A.K., Makarova T.N. Accumulation of L-Arginine in Needles of Norway Spruce with Regulated Nitrogen and Boron Availability. *Trudy KarNTs RAN* [Transactions of KarRC RAS], 2013, no. 3, pp. 159–165].

82. Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Унжаков А.Р., Тютюнник Н.Н. Аргинин в жизни хвойных растений // Сиб. экол. журн. 2016. № 5. С. 729–738. [Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Unzhakov A.R., Tyutyunnik N.N. Arginine in the Life of Coniferous Plants. *Sibirskiy Ekologicheskij Zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2016, no. 5, pp. 729–738]. DOI: [10.15372/SEJ20160510](https://doi.org/10.15372/SEJ20160510)

83. Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Иготти С.А., Дорофеева О.С., Шенгелия И.Д. Влияние обеспеченности бором на рост сеянцев сосны обыкновенной // Лесоведение. 2007. № 5. С. 69–76. [Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Igotti S.A., Dorofeeva O.S., Shengelia I.D. The Effect of Supply of Soils with Boron on the Growth of *Pinus sylvestris* Seedlings. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2007, no. 5, pp. 69–76].

84. Ягодин В.И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени / под ред. Ю.И. Холькина. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 224 с. [Yagodin V.I. *Fundamentals of Chemistry and Technology of Woody Greens Processing*. Leningrad, LGU Publ., 1981. 224 p.].

85. Aussenac G. Interactions between Forest Stands and Microclimate: Ecophysiological Aspects and Consequences for Silviculture. *Annals of Forest Science*, 2000, vol. 57, no. 3, pp. 287–301. DOI: [10.1051/forest:2000119](https://doi.org/10.1051/forest:2000119)

86. Axel R. Wirtschaftlichkeit der Wertastung. *Allgemeine Forstzeitschrift für Waldwirtschaft und Umwelt Sorge*, 1989, Bd. 44–45, S. 1188–1190.

87. Bergh J., Nilsson U., Allen H.L., Johansson U., Fahlvik N. Long-Term Responses of Scots Pine and Norway Spruce Stands in Sweden to Repeated Fertilization and Thinning. *Forest Ecology and Management*, 2014, vol. 320, pp. 118–128. DOI: [10.1016/j.foreco.2014.02.016](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.016)

88. Binkley D., Högberg P. Tamm Review: Revisiting the Influence of Nitrogen Deposition on Swedish Forests. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 368, pp. 222–239. DOI: [10.1016/j.foreco.2016.02.035](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.035)

89. Bledzki A.K., Gassan J. Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres. *Progress in Polymer Science*, 1999, vol. 24, iss. 2, pp. 221–274. DOI: [10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5)
90. Brockley R.P. Effects of Nitrogen and Boron Fertilization on Foliar Boron Nutrition and Growth in Two Different Lodgepole Pine Ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, vol. 33, no. 6, pp. 988–996. DOI: [10.1139/x03-032](https://doi.org/10.1139/x03-032)
91. Crecente-Campo F., Pommerening A., Rodríguez-Soalleiro R. Impacts of Thinning on Structure, Growth and Risk of Crown Fire in a *Pinus sylvestris* L. Plantation in Northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 2009, vol. 257, iss. 9, pp. 1945–1954. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.02.009](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.009)
92. De Vries W. Effects on Trees: Stem Growth. *The Condition of Forests in Europe: 2013 Executive Report*. Thünen, ICP Forests, 2013, pp. 30–32.
93. Del Río M., Bravo-Oviedo A., Pretzsch H., Löf M., Ruiz-Peinado R. A Review of Thinning Effects on Scots Pine Stands: From Growth and Yield to New Challenges under Global Change. *Forest Systems*, 2017, vol. 26, no. 2, art. eR03S. DOI: [10.5424/fs/2017262-11325](https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11325)
94. Del Río M., Calama R., Cañellas I., Roig S., Montero G. Thinning Intensity and Growth Response in SW-European Scots Pine Stands. *Annals of Forest Science*, 2008, vol. 65, iss. 3, art. 308. DOI: [10.1051/forest:2008009](https://doi.org/10.1051/forest:2008009)
95. Durzan D.J. Arginine, Scurvy and Cartier’s “Tree of Life”. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2009, no. 5, art. 5. DOI: [10.1186/1746-4269-5-5](https://doi.org/10.1186/1746-4269-5-5)
96. Durzan D.J. Arginine and the Shade Tolerance of White Spruce Saplings. Entering Winter Dormancy. *Journal of Forest Science*, 2010, vol. 56, no. 2, pp. 77–83. DOI: [10.17221/57/2009-JFS](https://doi.org/10.17221/57/2009-JFS)
97. Durzan D.J. Interpolated Apomictic Somatic Embryogenesis, Androsporogenesis, Asexual Heterospory, Mitosporogenesis and Genomic Silencing in a Gymnosperm Artificial Sporangium. *Proceedings of the IUFRO Working Party 2.09.02 Conference on “Integrating Vegetative Propagation, Biotechnologies and Genetic Improvement for Tree Production and Sustainable Forest Management”, Brno, Czech Republic, June 25–28, 2012*. Brno, IUFRO, 2012, pp. 3–36.
98. Ellsworth D.S., Crous K.Y., Lambers H., Cooke J. Phosphorus Recycling in Photorespiration Maintains High Photosynthetic Capacity in Woody Species. *Plant, Cell & Environment*, 2015, vol. 38, iss. 6, pp. 1142–1156. DOI: [10.1111/pce.12468](https://doi.org/10.1111/pce.12468)
99. Eriksson H., Karlsson K. *Effects of Different Thinning and Fertilization Regimes on the Development of Scots Pine (Pinus sylvestris (L.)) and Norway Spruce (Picea abies (L.) Karst.) Stands in Long-Term Silvicultural Trials in Sweden*. Technical Report no. SLU-SKOPRO-R-42. Uppsala, SLU, 1997, vol. 42. 135 p. [In Swedish].
100. From F. *Long-Term Effects of Nitrogen (N) Fertilizer and Simulated N Deposition on Boreal Forest Growth*. Licentiate Thesis. Umeå, SLU, 2014. 49 p.
101. From F., Strengbom J., Nordin A. Residual Long-Term Effects of Forest Fertilization on Tree Growth and Nitrogen Turnover in Boreal Forest. *Forests*, 2015, vol. 6, iss. 4, pp. 1145–1156. DOI: [10.3390/f6041145](https://doi.org/10.3390/f6041145)
102. Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy Wood Resources in Northwest Russia. *Biomass and Bioenergy*, 2011, vol. 35, iss. 5, pp. 1655–1662. DOI: [10.1016/j.biombioe.2010.12.039](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.039)
103. Gezelius K., Näsholm T. Free Amino Acids and Protein in Scots Pine Seedlings Cultivated at Different Nutrient Availabilities. *Tree Physiology*, 1993, vol. 13, iss. 1, pp. 71–86. DOI: [10.1093/treephys/13.1.71](https://doi.org/10.1093/treephys/13.1.71)
104. Ghosh M.K., Ghosh U.K. Utilization of Pine Needles as Bed Material in Solid State Fermentation for Production of Lactic Acid by Lactobacillus Strains. *Bio-Resources*, 2011, vol. 6, iss. 2, pp. 1556–1575.
105. Gupta M., Chauhan M., Khatoon N., Singh B. Studies on Biocomposites Based on Pine Needles and Isocyanate Adhesives. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2010, vol. 10, no. 4, pp. 352–362. DOI: [10.1166/jbmb.2010.1100](https://doi.org/10.1166/jbmb.2010.1100)

106. Haveraaen O., Frivold L.H. Effect of Repeated Fertilization on Stem Growth in Old Stands of *Pinus sylvestris* in South East Norway. *Journal of Forest Science*, 2015, vol. 61, no. 2, pp. 72–79. DOI: [10.17221/110/2014-JFS](https://doi.org/10.17221/110/2014-JFS)

107. Hopmans P., Flinn D.W. Boron Deficiency in *Pinus radiata* D. Don and the of Applied Boron on Height Growth and Nutrient Uptake. *Plant and Soil*, 1984, vol. 79, iss. 2, pp. 295–298. DOI: [10.1007/BF02182353](https://doi.org/10.1007/BF02182353)

108. Högborg P., Fan H., Quist M., Binkley D., Tamm C.O. Tree Growth and Acidification in Response to 30 Years of Experimental Nitrogen Loading on Boreal Forest. *Global Change Biology*, 2006, vol. 12, iss. 3, pp. 489–499. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2006.01102.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01102.x)

109. Huhn G., Schulz H. Contents of Free Amino Acids in Scots Pine Needles from Field Sites with Different Levels of Nitrogen Deposition. *New Phytologist*, 1996, vol. 134, iss.1, pp. 95–101. DOI: [10.1111/j.1469-8137.1996.tb01149.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1996.tb01149.x)

110. Hyvönen R., Persson T., Andersson S., Olsson B., Ågren G.I., Linder S. Impact of Long-Term Nitrogen Addition on Carbon Stocks in Trees and Soils in Northern Europe. *Biogeochemistry*, 2008, vol. 89, pp. 121–137. DOI: [10.1007/s10533-007-9121-3](https://doi.org/10.1007/s10533-007-9121-3)

111. Ikonen V.-P., Peltola H., Wilhelmsson L., Kilpeläinen A., Väisänen H., Nuutinen T., Kellomäki S. Modelling the Distribution of Wood Properties along the Stems of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) as Affected by Silvicultural Management. *Forest Ecology and Management*, 2008, vol. 256, no. 6, pp. 1356–1371. DOI: [10.1016/j.foreco.2008.06.039](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.06.039)

112. Iwalokun B.A., Hodonu S.A., Nwoke S., Ojo O., Agomo P.U. Evaluation of the Possible Mechanisms of Antihypertensive Activity of Loran Thus *Micranthus*: An African Mistletoe. *Biochemistry Research International*, 2011, vol. 2011, art. 159439. DOI: [10.1155/2011/159439](https://doi.org/10.1155/2011/159439)

113. Jacobson S., Pettersson F. Growth Responses Following Nitrogen and NPKMg Additions to Previously N-Fertilized Scots Pine and Norway Spruce Stands on Mineral Soils in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, vol. 31(5), pp. 899–909. DOI: [10.1139/x01-020](https://doi.org/10.1139/x01-020)

114. Jacobson S., Pettersson F. An Assessment of Different Fertilization Regimes in Three Boreal Coniferous Stands. *Silva Fennica*, 2010, vol. 44, no. 5, pp. 815–827. DOI: [10.14214/sf.123](https://doi.org/10.14214/sf.123)

115. Jagodziński A.M., Kałucka I., Horodecki P., Oleksyn J. Aboveground Biomass Allocation and Accumulation in a Chronosequence of Young *Pinus sylvestris* Stands Growing on a Lignite Mine Spoil Heap. *Dendrobiology*, 2014, vol. 72, pp. 139–150. DOI: [10.12657/denbio.072.012](https://doi.org/10.12657/denbio.072.012)

116. Jelonek T., Pazdrowski W., Walkowiak R., Arasimowicz-Jelonek M., Tomczak A. Allometric Models of Foliage Biomass in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 355–364.

117. King J.E., Gifford D.J. Amino Acid Utilization in Seeds of Loblolly Pine during Germination and Early Seedling Growth (I. Arginine and Arginase Activity). *Plant Physiology*, 1997, vol. 113, pp. 1125–1135. DOI: [10.1104/pp.113.4.1125](https://doi.org/10.1104/pp.113.4.1125)

118. Kukkola M., Saramäki J. Growth Response in Repeatedly Fertilized Pine and Spruce Stands on Mineral Soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 1983, vol. 114. 55 p.

119. Kumar R., Zhang L. Aligned Ramie Fiber Reinforced Arylated Soy Protein Composites with Improved Properties. *Composites Science and Technology*, 2009, vol. 69, iss. 5, pp. 555–560. DOI: [10.1016/j.compscitech.2008.10.027](https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.10.027)

120. Lal P.S., Sharma A., Bist V. Pine Needle – An Evaluation of Pulp and Paper Making Potential. *Journal of Forest Products and Industries*, 2013, vol. 2, iss. 3, pp. 42–47.

121. Larson P.R., Kretschmann D.E., Clark III A., Isebrands J.G. *Formation and Properties of Juvenile Wood in Southern Pines: A Synopsis*. General Technical Report FPL-GTR-129. Madison, WI, USDA, 2001. 42 p.

122. Lehtonen A. Estimating Foliage Biomass in Scots Pine (*Pinus sylvestris*) and Norway Spruce (*Picea abies*) Plots. *Tree Physiology*, 2005, vol. 25, iss. 7, pp. 803–811. DOI: [10.1093/treephys/25.7.803](https://doi.org/10.1093/treephys/25.7.803)
123. Lindström H. Basic Density in Norway Spruce. Part I. A Literature Review. *Wood and Fiber Science*, 1996, vol. 28(1), pp. 15–27.
124. Magill A.H., Aber J.D., Currie W.S., Nadelhoffer K.J., Martin M.E., McDowell W.H., Melillo J.M., Steudler P. Ecosystem Response to 15 Years of Chronic Nitrogen Additions at the Harvard Forest LTER, Massachusetts, USA. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 196, iss. 1, pp. 7–28. DOI: [10.1016/j.foreco.2004.03.033](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.03.033)
125. Mäkelä A., Vanninen P. Impacts of Size and Competition on Tree Form and Distribution of Aboveground Biomass in Scots Pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 1998, vol. 28, no. 2, pp. 216–227. DOI: [10.1139/x97-199](https://doi.org/10.1139/x97-199)
126. Mäkinen H., Hynynen J. Wood Density and Tracheid Properties of Scots Pine: Responses to Repeated Fertilization and Timing of the First Commercial Thinning. *Forestry*, 2014, vol. 87, iss. 3, pp. 437–447. DOI: [10.1093/forestry/cpu004](https://doi.org/10.1093/forestry/cpu004)
127. Mäkinen H., Saranpää P., Linder S. Wood-Density Variation of Norway Spruce in Relation to Nutrient Optimization and Fibre Dimensions. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, vol. 32, no. 2, pp. 185–194. DOI: [10.1139/x01-186](https://doi.org/10.1139/x01-186)
128. Mälkönen E., Kukkola M. Effects of Long-Term Fertilization on the Biomass Production and Nutrient Status of Scots Pine Stands. *Fertilizer Research*, 1991, vol. 27, pp. 113–127. DOI: [10.1007/BF01048614](https://doi.org/10.1007/BF01048614)
129. Mead D.J., Gadgil R.L. Fertilizer Use in Established Radiata Pine Stands in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 1978, vol. 8, no. 1, pp. 105–134.
130. Mörling T. Evaluation of Annual Ring Width and Ring Density Development Following Fertilization and Thinning of Scots Pine. *Annals of Forest Science*, 2002, vol. 59, no. 1, pp. 29–40. DOI: [10.1051/forest:2001003](https://doi.org/10.1051/forest:2001003)
131. Mörling T., Valinger E. Effects of Fertilization and Thinning on Heartwood Area, Sapwood Area and Growth in Scots Pine. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1999, vol. 14, iss. 5, pp. 462–469. DOI: [10.1080/02827589950154168](https://doi.org/10.1080/02827589950154168)
132. Müssig J. Cotton Fibre-Reinforced Thermosets Versus Ramie Composites: A Comparative Study Using Petrochemical- and Agro-Based Resins. *Journal of Polymers and the Environment*, 2008, vol. 16, pp. 94–102. DOI: [10.1007/s10924-008-0089-4](https://doi.org/10.1007/s10924-008-0089-4)
133. Näsholm T., Ericsson A. Seasonal Changes in Amino Acids, Protein and Total Nitrogen in Needles of Fertilized Scots Pine Trees. *Tree Physiology*, 1990, vol. 6, iss. 3, pp. 267–281. DOI: [10.1093/treephys/6.3.267](https://doi.org/10.1093/treephys/6.3.267)
134. Niemistö P., Kilpeläinen H., Poutiainen E. Effect of First Thinning Type and Age on Growth, Stem Quality and Financial Performance of a Scots Pine Stand in Finland. *Silva Fennica*, 2018, vol. 52, no. 2, art. 7816. DOI: [10.14214/sf.7816](https://doi.org/10.14214/sf.7816)
135. Nilsen P., Abrahamsen G. Scots Pine and Norway Spruce Stands Responses to Annual N, P and Mg Fertilization. *Forest Ecology and Management*, 2003, vol. 174, iss. 1-3, pp. 221–232. DOI: [10.1016/S0378-1127\(02\)00024-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00024-5)
136. Nordin A., Ugglä C., Näsholm T. Nitrogen Forms in Bark, Wood and Foliage of Nitrogen-Fertilized *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology*, 2001, vol. 21, iss. 1, pp. 59–64. DOI: [10.1093/treephys/21.1.59](https://doi.org/10.1093/treephys/21.1.59)
137. Novak J., Slodicak M., Dusek D. Thinning Effects on Forest Productivity and Site Characteristics in Stands of *Pinus sylvestris* in the Czech Republic. *Forest Systems*, 2011, vol. 20, no. 3, pp. 464–474. DOI: [10.5424/fs/20112003-11074](https://doi.org/10.5424/fs/20112003-11074)
138. Oleksyn J., Reich P.B., Zytkowski R., Karolewski P., Tjoelker M.G. Needle Nutrients in Geographically Diverse *Pinus sylvestris* L. Populations. *Annals of Forest Science*, 2002, vol. 59, no. 1, pp. 1–18. DOI: [10.1051/forest:2001001](https://doi.org/10.1051/forest:2001001)
139. Peltola H., Kilpeläinen A., Sauvala K., Räisänen T., Ikonen, V.-P. Effects of Early Thinning Regime and Tree Status on the Radial Growth and Wood Density of Scots Pine. *Silva Fennica*, 2007, vol. 41, no. 3, pp. 489–505. DOI: [10.14214/sf.285](https://doi.org/10.14214/sf.285)

140. Pettersson F., Högbom L. Long-Term Growth Effects Following Forest Nitrogen Fertilization in *Pinus sylvestris* and *Picea abies* Stands in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2004, vol. 19, iss. 4, pp. 339–347. DOI: [10.1080/02827580410030136](https://doi.org/10.1080/02827580410030136)
141. Pietrzykowski M., Socha J. An Estimation of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Ecosystem Productivity on Reclaimed Post-Mining Sites in Poland (Central Europe) Using of Allometric Equations. *Ecological Engineering*, 2011, vol. 37, iss. 2, pp. 381–386. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2010.10.006](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.10.006)
142. Poorter H., Niklas K.J., Reich P.B., Oleksyn J., Poot P., Mommer L. Biomass Allocation to Leaves, Stems and Roots: Meta-Analyses of Interspecific Variation and Environmental Control. *New Phytologist*, 2012, vol. 193, pp. 30–50. DOI: [10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x)
143. Primicia I., Artázcoz R., Imbert J.-B., Puertas F., Traver M.C., Castillo F.-J. Influence of Thinning Intensity and Canopy Type on Scots Pine Stand and Growth Dynamic in a Mixed Managed Forest. *Forest Systems*, 2016, vol. 25, no. 2, art. e057. DOI: [10.5424/fs/2016252-07317](https://doi.org/10.5424/fs/2016252-07317)
144. Pukkala T. Optimal Nitrogen Fertilization of Boreal Conifer Forest. *Forest Ecosystems*, 2017, vol. 4, art. 3. DOI: [10.1186/S40663-017-0090-2](https://doi.org/10.1186/S40663-017-0090-2)
145. Repola J., Ahnlund Ulvcróna K. Modelling Biomass of Young and Dense Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Dominated Mixed Forests in Northern Sweden. *Silva Fennica*, 2014, vol. 48, no. 5, art. 1190. DOI: [10.14214/sf.1190](https://doi.org/10.14214/sf.1190)
146. Routa J., Kellomäki S., Peltola H., Asikainen A. Impacts of Thinning and Fertilization on Timber and Energy Wood Production in Norway Spruce and Scots Pine: Scenario Analyses Based on Ecosystem Model Simulations. *Forestry*, 2011, vol. 84, iss. 2, pp. 159–175. DOI: [10.1093/forestry/cpr003](https://doi.org/10.1093/forestry/cpr003)
147. Sauter U.H., Mutz R., Munro B.D. Determining Juvenile-Mature Wood Transition in Scots Pine Using Latewood Density. *Wood Fiber and Science*, 1999, vol. 31, pp. 416–425.
148. Sikström U. Effects of Low-Dose Liming and Nitrogen Fertilization on Stemwood Growth and Needle Properties of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management*, 1997, vol. 95, iss. 3, pp. 261–274. DOI: [10.1016/S0378-1127\(97\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00025-X)
149. Singha A.S., Jyoti A. Mechanical, Morphological, and Thermal Properties of Chemically Treated Pine Needles Reinforced Thermosetting Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, vol. 127, iss. 1, pp. 387–393. DOI: [10.1002/app.37636](https://doi.org/10.1002/app.37636)
150. Sinha P., Mathur S., Sharma P., Kumar V. Potential of Pine Needles for PLA-Based Composites. *Polymer Composites*, 2018, vol. 39, iss. 4, pp. 1339–1349. DOI: [10.1002/pc.24074](https://doi.org/10.1002/pc.24074)
151. Sjølie H.K., Sørli H.A.K., Tveite B., Solberg B. The Performance of Two Swedish N Fertilization Functions Evaluated on Data from Norwegian Fertilization Experiments. *Silva Fennica*, 2015, vol. 49, no. 4, art. 1330. DOI: [10.14214/sf.1330](https://doi.org/10.14214/sf.1330)
152. Tamm C.O. *Nitrogen in Terrestrial Ecosystems*. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 1991. 116 p. DOI: [10.1007/978-3-642-75168-4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-75168-4)
153. Tarvainen L., Lutz M., Rantfors M., Näsholm T., Wallin G. Increased Needle Nitrogen Contents Did Not Improve Shoot Photosynthetic Performance of Mature Nitrogen-Poor Scots Pine Trees. *Frontiers in Plant Science*, 2016, vol. 7, art. 1061. DOI: [10.3389/fpls.2016.01051](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01051)
154. Ulvcróna T., Ulvcróna K.A. The Effects of Pre-Commercial Thinning and Fertilization on Characteristics of Juvenile Clearwood of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Forestry*, 2011, vol. 84, iss. 3, pp. 207–219. DOI: [10.1093/forestry/cpr007](https://doi.org/10.1093/forestry/cpr007)
155. Valinger E. Effects of Thinning and Nitrogen Fertilization on Stem Growth and Stem Form of *Pinus sylvestris* Trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1992, vol. 7, iss. 1-4, pp. 219–228.
156. Valinger E., Elfving B., Mörling T. Twelve-Year Growth Response of Scots Pine to Thinning and Nitrogen Fertilization. *Forest Ecology and Management*, 2000, vol. 134, iss. 1-3, pp. 45–53. DOI: [10.1016/S0378-1127\(99\)00244-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00244-3)
157. Valinger E., Sjögren H., Nord G., Cedergren J. Effects on Stem Growth of Scots Pine 33 Years after Thinning and/or Fertilization in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2019, vol. 34, iss. 1, pp. 33–38. DOI: [10.1080/02827581.2018.1545920](https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1545920)

158. Vanninen P. Allocation of Above-Ground Growth in *Pinus sylvestris* – Impacts of Tree Size and Competition. *Silva Fennica*, 2004, vol. 38, no. 2, pp. 155–166. DOI: [10.14214/sf.425](https://doi.org/10.14214/sf.425)
159. Varmola M., Salminen H., Timonen M. Thinning Response and Growth Trends of Seeded Scots Pine Stands at the Arctic Timberline. *Silva Fennica*, 2004, vol. 38, no. 1, pp. 71–83. DOI: [10.14214/sf.436](https://doi.org/10.14214/sf.436)
160. Vose J.M., Dougherty P.M., Long J.N., Smith F.W., Gholz H.L., Curran P.J. Factors Influencing the Amount and Distribution of Leaf Area of Pine Stands. *Ecological Bulletins*, 1994, no. 43, pp. 102–114. DOI: [10.2307/20113135](https://doi.org/10.2307/20113135)
161. Warren C.R., Adams M.A. Phosphorus Affects Growth and Partitioning of Nitrogen to Rubisco in *Pinus pinaster*. *Tree Physiology*, 2002, vol. 22, iss. 1, pp. 11–19. DOI: [10.1093/treephys/22.1.11](https://doi.org/10.1093/treephys/22.1.11)
162. Wikner B. Distribution and Mobility of Boron in Forest Ecosystems. *Communications Instituti Forestalis Fenniae*, 1983, no. 116, pp. 131–141.
163. Winter G., Todd C.D., Trovato M., Forlani G., Funck D. Physiological Implications of Arginine Metabolism in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 2015, vol. 6, art. 534. DOI: [10.3389/fpls.2015.00534](https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00534)
164. Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. *Silva Fennica Monographs 4*, 2005, vol. 4. 63 p.

OBTAINING WOODY GREENS ENRICHED WITH L-ARGININE DURING FORESTRY MANAGEMENT OF YOUNG SCOTS PINE STANDS (SCIENTIFIC REVIEW)

E.V. Robonen¹, *Research Scientist; ResearcherID: [AAD-1958-2019](https://orcid.org/0000-0001-7926-8672)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7926-8672>

N.P. Chernobrovkina¹, *Doctor of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: [K-6120-2018](https://orcid.org/0000-0002-9716-003X)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9716-003X>

M.I. Zaitseva², *Candidate of Engineering; ResearcherID: [P-2238-2015](https://orcid.org/0000-0003-4209-2815)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4209-2815>

B.V. Raevsky¹, *Doctor of Agriculture; ResearcherID: [K-6424-2018](https://orcid.org/0000-0002-1315-8937)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1315-8937>

A.V. Egorova¹, *Junior Research Scientist; ResearcherID: [K-6095-2018](https://orcid.org/0000-0002-1691-1269)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-1269>

G.N. Kolesnikov², *Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [A-1553-2014](https://orcid.org/0000-0001-9694-0264)*,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9694-0264>

¹Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: er51@bk.ru, chernobr@krc.karelia.ru, egorova.anast@mail.ru

²Petrozavodsk State University, ul. Lenina, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: 2003bk@bk.ru, kolesnikovgn@yandex.ru

Forests produce a huge amount of organic matter, which is a source of renewable raw materials for the production of technical, feed, food and pharmaceutical products. The logging and woodworking industry in Karelia, as in Russia as a whole, is based exclusively on stem wood. Woody greens are formed while felling ripe and over-mature stands, thinning and implementation of measures for the conservation, protection and reproduction of forests including forest stands cutting. The development of technologies for the use of woody greens is necessary for the multi-purpose utilization of the entire phytomass produced by forest plant communities. An additional economic incentive for young stands thinning and limbing, that are used to improve the quality of logs, is the ability to reduce costs or even ensure the profitability of these measures driven by the development of processing plants and the use of wastes generated during transportation: thinners, low-quality and low-value

deciduous wood, woody greens, that are raw materials for the production of biologically active preparations of various action. The urgent tasks are to increase the use of import-substituting pharmaceutical substances and to search the alternative methods for producing raw materials for nutrient mixtures and feed stuff. Technologies for modifying the biochemical composition of coniferous greens, resulting in production of plant raw materials enriched with target biologically active substances, are being developed for the exploration of new plant sources. The water-soluble fraction of coniferous greens contains free amino acids, in particular L-arginine, which plays an important role in the life of animals. A promising way is to increase the free amino acids content in coniferous raw materials and change their quantitative ratio by regulation of the mineral nutrition regime of woody plants. An original scheme of additional supply of coniferous plants with nitrogen and boron is proposed in order to obtain coniferous greens enriched with L-arginine. The use of conifers as bioproducers of L-arginine and the study of its metabolism with reference to climatic factors, conditions of mineral nutrition, seasonal and daily dynamics in the natural environment, the search for ways to increase its level in organs and tissues is of current interest both on the theoretical and practical sides. Obtaining coniferous greens enriched with L-arginine will allow organizing the production of coniferous products for nutrient and pharmaceutical use. It is necessary to analyze the potential sources of raw materials taking into account their availability, costs for enriching the needles with L-arginine and product yield per unit area to assess the economic feasibility of organizing such production. A developed sequence of forestry measures will make it possible to obtain needles enriched with L-arginine, both in the process of implementing various types of forest use, and in carrying out activities aimed at increasing the productivity of forests and preserving their useful functions. Herewith, it is possible to turn costly cleaning and fertilizing of young Scots pine stands into profitable ones with additional products. Technologies of intentional changes in the chemical composition and pharmacological properties of plant raw materials obtained from woody plants will allow the development of new raw materials for biologically active substances.

For citation: Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Zaitseva M.I., Raevsky B.V., Egorova A.V., Kolesnikov G.N. Obtaining Woody Greens Enriched with L-Arginine during Forestry Management of Young Scots Pine Stands (Scientific Review). *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 5, pp. 9–37. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-9-37

Funding: The research was federally funded for the fulfillment of the state assignment of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Forest Institute of KarRC RAS) and within the framework of the Development Program of the Flagship University – Petrozavodsk State University.

Keywords: forest crops, thinning, nitrogen, boron, fertilizers, Scots pine, woody greens, L-arginine, efficient use of resources.

Поступила 30.12.19 / Received on December 30, 2019
