

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/3>

УДК 630*52



Моделирование роста производных сосняков брусничного типа леса разной густоты в Мурманской области

Сергей В. Третьяков^{1,2}, s.v.tretyakov@narfu.ru <https://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

Александр П. Богданов¹ aleksandr_bogd@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-1655-7212>

Илья В. Цветков^{1,2}, i.tsvetkov@narfu.ru <https://orcid.org/0000-0002-1559-3254>

Александр В. Давыдов¹, davydov.a@edu.narfu.ru <https://orcid.org/0000-0003-4328-7040>

Алексей А. Карабан¹, karaban.a@edu.narfu.ru <https://orcid.org/0000-0002-2934-0303>

¹ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, 163062, Россия

²ФГАОУ ВО Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, 163002, Россия

В целях совершенствования нормативов и повышения точности лесотаксационных работ проведено моделирование хода роста сосновых древостоев в брусничном типе леса в притундровых лесах Мурманской области. В процессе моделирования хода роста использованы методы аналитического выравнивания таксационных показателей и анализа материалов перечислительной таксации. В 2023 году проведены повторные перечеты на постоянных пробных площадях в Мурманской области, заложенных в 1962 году и повторно протаксированных в 1967 и 1972 годах. Учтены исследования одного из основоположников притундрового лесоводства, В.Ф. Цветкова, о разделении сосняков брусничных на типы формирования по густоте на умеренно густые и перегущенные. Материалы сгруппированы и выровнены, по результатам обработки получены динамические ряды таксационных показателей древостоев, которые представлены в форме уравнений. Получены значения эмпирических коэффициентов уравнения высоты или диаметра древостоя от возраста в перегущенных и умеренной густоты сосняках брусничных, характеризующих высокую тесноту связи ($R^2 = 0,86-0,97$) связь между признаками статистически значима ($p < 0,05$). Исследуемые древостои испытывают значительное влияние природных условий на крайнем пределе произрастания, что, прежде всего, сказывается на динамике роста в высоту. Полученные значения высот деревьев свидетельствует о том, что модальные сосновые древостои в брусничном типе леса растут по IV-V классам бонитета.

Ключевые слова: сосняк брусничный, *Pinus sylvestris* L., моделирование, ход роста, притундровые леса

Финансирование: Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства «Разработка лесотаксационных нормативов для насаждений сосны обыкновенной на северном пределе их распространения, расположенных на границе с открытыми пространствами: тундрами, водно-болотными участками (морем) в районе притундровых лесов и редкостойной тайги и в защитных лесах северо-таежного района европейской части Российской Федерации и разработка рекомендаций по ведению в них хозяйства» (регистрационный номер: 122012600067-9).

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Для цитирования: Моделирование роста производных сосняков брусничного типа леса разной густоты в Мурманской области / С. В. Третьяков, А. П. Богданов, И. В. Цветков, А. В. Давыдов, А. А. Карабан // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 1 (53). – С. 35–53. – Библиогр.: с. 48–52 (27 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/3>.

Поступила 07.08.2023. Пересмотрена 05.12.2023. Принята 29.01.2024. Опубликовано онлайн 20.03.2024.


Article

Modelling the growth of secondary cowberry pine forest of different densities in Murmansk region

Sergey V. Tretyakov^{1,2}, s.v.tretyakov@narfu.ru  <https://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

Alexander P. Bogdanov^{1,2}, , aleksandr_bogd@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-1655-7212>

Ilya V. Tsvetkov^{1,2}, i.tsvetkov@narfu.ru  <https://orcid.org/0000-0002-1559-32540>

Alexander V. Davydov^{1,2}, davydov.a@edu.narfu.ru  <https://orcid.org/0000-0003-4328-7040>

Alexey A. Karaban^{1,2}, karaban.a@edu.narfu.ru  <https://orcid.org/0000-0002-2934-0303>

¹Northern Research Institute of Forestry, Nikitova, str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Severnaya Dvina Emb. 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

Abstract

In aiming to improve the standards and increase the accuracy of forest taxation works, modeling of the growth of pine stands in the cowberry type of forest in the zone of tundra forests of the Murmansk region was carried out. In the process of modeling the course of growth, methods of analytical alignment of taxation indicators and analysis of enumerative taxation materials were used. Trial areas were used to study the course of growth. In 2023, repeated recounts were carried out on permanent test areas in the Murmansk Region, laid down in 1962 and repeated recounts in 1967 and 1972. V.F. Tsvetkov research is taken into account, one of the founders of tundra forestry, on the division into types of formation of cranberry pine forests by density into moderately dense and overgrown. The values of empirical coefficients of the equation of stand height or diameter from age in overdrained and moderately dense lingonberry pine forests, characterising high closeness of relationship ($R^2=0,86-0,97$) the relationship between the signs is statistically significant ($p < 0.05$). The stands under study are significantly influenced by natural conditions at the extreme limit of growth, which primarily affects the dynamics of growth in height. The materials are grouped and aligned, according to the results of processing, dynamic series of taxational indicators of stands are obtained, which are presented in the form of equations. The obtained height values indicate that modal pine stands in the cowberry type of forest grow according to IV-V classes of bonitet.

Keywords: cowberry pine forest, *Pinus sylvestris* L., modelling, growth process, tundra forests.

Funding: The publication was prepared based on the results of research carried out as part of the state task of the FBU "NRIF" to conduct applied scientific research in the field of activity of the Federal Forestry Agency "Development of forest inventory standards for Scots pine plantations at the northern limit of their distribution, located on the border with open spaces: tundra, wetland areas (sea) in the area of tundra forests and sparse taiga and in protective forests of the north-taiga region of the European part of the Russian Federation and the development of recommendations for managing them" (registration number of the topic: 122012600067-9).

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Tretyakov S. V., Bogdanov A. P., Tsvetkov I. V., Davydov A. V., Karaban A. A. (2024). Modelling the growth of secondary cowberry pine forest of different densities in Murmansk region. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 1 (53), pp. 35-53 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.1/3>.

Received 07.08.2023. **Revised** 05.12.2023. **Accepted** 29.01.2024. **Published online** 20.03.2024.

Введение

Ведение лесного хозяйства в притундровых лесах связано с необходимостью учитывать их защитный статус, закрепленный в статье 115 ЛК РФ⁴. Леса, признанные притундровыми, имеют высокое природоохранное значение. Притундровые леса (крайнего Севера, лесотундровые, арктические и т.д.) оказывают важные экосистемные услуги, включая, как приведено у Н.В. Лукиной и др. [1]:

- обеспечивающие услуги в виде древесины, недревесных лесных ресурсов;
- регулирующие услуги (контроль эрозии, регулирование климата, водорегулирующие функции, средообразующие и др.);
- поддерживающие услуги (почвообразование, фотосинтез и др.);
- культурные услуги (духовные и религиозные, рекреационные, образовательные, традиционные и др.) и другие услуги.

Притундровые леса играют важную роль в формировании климатических условий на планетарном, региональном и локальном уровнях. Это своеобразный эволюционный сформировавшийся биом на контакте природных зон тайги и тундры⁵. Как отмечают С.Т. Им и др. (2020), в настоящее время на севере эта полоса расширяется за счет участков островных, долинно-приречных лесов, редколесий и криволесий, вклинивающихся в тундру, а также за счет постепенного зарастания открытых пространств травянисто-кустарничковой и древесной

растительностью [2]. В этом контексте необходимость изучения влияния изменения климата на рост и особенности адаптации к нему сосновых древостоев различных типов леса подчеркивают Р. González-Díaz et al. [3], В. Méndez-Cea et al. [4] и J.M. Housset et al. [5]. Ожидается, что в условиях изменения климата наиболее сильное воздействие на рост древесных растений будет наблюдаться на границах ареалов видов. При этом J.M. Housset et al. отводят ключевую роль акклиматизации деревьев [5]. По мнению S. Shah et al. (2020), Е. Лопатина (2016), открытым остается вопрос о южной и северной границах притундровых лесов, которые, соответственно, изменяются под воздействием изменения климата, в связи с этим ранее разработанные таблицы хода роста нуждаются в актуализации⁶ [6, 7].

Основоположниками притундрового лесоводства установлено, что лесные фитоценозы, на пунктах наблюдения (66° с. ш.) снижают скорость ветра, движущегося с безлесных пространств Арктики. Зона ослабления ветра на подветренной стороне в притундровых лесах составляет до 200 м и равна 20–30 средним высотам древостоев. Благодаря климаторегулирующей роли притундровых лесов наблюдается отличающаяся динамика числа дней с сильной скоростью ветра в разных лесорастительных зонах и подзонах европейской части России^{7,8}.

На северных пределах произрастания сосен (*Pinus sylvestris* L.) А.В. Давыдов и др. (2023) указывают на существенную ветровую нагрузку на

⁴ Лесной кодекс Российской Федерации: [принят Гос. Думой 8 ноября 2006 г.: в ред. от 01.09.2023]. 2006. 144с.

⁵ Семенов Б.А., Цветков В.Ф. Исследования в притундровых лесах. Наука- лесному хозяйству Севера. Сборник научных работ института лесного хозяйства. Архангельск. 1999. С. 20-25.

⁶ Сериков М.Т. Основы математического моделирования в лесоустойстве : учебное пособие. Воронеж, 2016. 107 с. URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=292362>.

⁷ Семенов Б.А., Елизаров Ф.П. Влияние лесной растительности Крайнего Севера на скорость ветра и распределение снега. Экологически исследования в лесах Европейского Севера. Архангельск: АИЛиЛХ, 1991. С. 16-26.

⁸ Семенов Б.А. Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П. Притундровые леса европейской части России: природа и ведение хозяйства. Архангельск: СевНИИЛХ. 1998. 332 с.

кроны древостоев, препятствующую росту стволов в высоту [8].

Кроме того, исследователи мерзлотных почв отмечают достаточное количество кальция и фосфора в их химическом составе, но указанные минеральные элементы находятся на той глубине почвы, которая оттаивает именно к концу лета. В связи с чем корням, которые на 60-80 % располагаются на глубине около 10 см, трудно обогащать древостой питательными веществами, что усугубляется также низким содержанием азота в почвах притундровых лесов. Доступным остается именно гумус, количество которого считается достаточным. Общий недостаток питания приводит к сильной корневой конкуренции, которая усиливается с повышением густоты древостоя. При этом распространенность древостоев с относительной полнотой 0,5 является дополнительным фактором для возникновения подроста под разреженным пологом^{9, 10, 11}.

Повышенная корневая конкуренция и влияние ветровой нагрузки в сочетании с пониженными температурами воздуха и земной поверхности приводят к формированию сосняков преимущественно V класса бонитета на северном пределе произрастания.

Главным фактором, который влияет на появление всходов в притундровых сосняках, считается пирогенное влияние. При нем почва очищается от напочвенного покрова и лесной подстилки, обогащается питательными веществами от сгоревшего органического вещества. В связи с тем, что напочвенный покров после пожара восстанавливается медленно, напочвенная среда остается благоприятной для восприятия семян. Самая высокая численность жизнеспособного подроста и самосева сосны (*P. sylvestris* L.) наблюдается под пологом сосняков брусничных при давности пожара – от 15 до 25 лет, при давности пожара до 30-40 лет подрост наблюдается только в сосняках лишайниковых. Через 40-50 лет после пожара подрост первых послепожарных поколений начинает отмирать. В дальнейшем отпад

начинает превышать возобновление, до момента возникновения нового пожара. На успешность самовозобновления сосны на гари влияет почвенные условия. По результатам исследований О.И. Гавриловой [9], максимальная численность сосны (*P. sylvestris* L.) отмечается на скальных возвышениях, а понижениях доминирует береза (*Betula pendula* Roth). И.Н. Кутявин и др. (2020) [10], И.Н. Кутявин и А.В. Манов (2019) [11], Е.А. Робакидзе и К.С. Бобкова (2022) [12], А.В. Манов и И.Н. Кутявин (2018) [13] считают отличительной особенностью формирования сосняков широкую представленность лесовозобновительных процессов послепожарного типа. Изучение постпирогенной динамики структуры древостоя сосны (*P. sylvestris* L.) остается актуальной задачей.

При указанной особенности естественного возобновления наблюдается высокая разновозрастность сосны (*P. sylvestris*) и сопутствующих пород в молодых поколениях, выраженная доминированием главной породы на преобладающей части площадей. В связи с медленным ростом всех древесных пород конкурентное влияние лиственных на главную породу заметно ослаблено. При формировании производных насаждений в сосняках участвует также молодое поколение ели (*Picea Abies* L.), которая не имеет преобладающей доли в составе подроста¹².

Спелые и перестойные древостой *P. sylvestris*, пройденные низовыми пожарами, отличаются лучшим ростом, но реагируют по-разному. В отличие от спелых древостоев (130-140 лет), рост которых увеличивается, нередко достигая второго максимума прироста, у перестойных сосен рост остается замедленным и не отличается от прироста до пожара. В сосняках, не тронутых рубками и пройденных пожарами невысокой интенсивности, отрицательное влияние пожара на прирост высоты не является значительным (около 10 %). После пожаров и последующих санитарных рубок, связанных в основном с уборкой сухостоя, древостой *P. sylvestris* снижает

⁹ Семенов Б.А. Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П. Притундровые леса европейской части России: природа и ведение хозяйства. Архангельск: СевНИИЛХ. 1998: 332 с.

¹⁰ Лесная энциклопедия. Т. 1. М.: Советская Энциклопедия, 1985. 563 с.

¹¹ Цветков В.Ф. Этюды экологии леса. Архангельск: АГТУ, 2009; 354 с.

¹² Цветков В.Ф. Эскизы таблиц хода роста сосновых древостоев разных типов формирования в Мурманской области. Архангельск. 1992: 16 с.

прирост в высоту, но увеличивает прирост по диаметру. В насаждениях с низовыми пожарами, не наносящих заметного ущерба древостоям, при снижении роста в высоту прирост по диаметру практически не изменяется. Соответственно, возникает необходимость регулирования притундровых сосняков несплошными рубками для улучшения последующего возобновления, что также отвечает потребностям местного населения в древесине, на которую указывают О.Н. Тюкавина и А.П. Феклистов (2019) [14] и другие ученые^{13, 14}.

Согласно лесоводственным рекомендациям 1970-х годов, в разновозрастных притундровых сосняках следует проводить двухприемные постепенные рубки с выполнением мер содействия естественному возобновлению. В первый прием (интенсивность 40-50 % по запасу) предполагалось удалять *P. sylvestris* старше 180-200 лет и нежелательные деревья, регулировать состав подроста. Второй прием можно было повторять через 30-50 лет. В условиях разновозрастных сосняков в первый прием предполагалось вырубать наиболее старые деревья (35-45 % запаса). Окончательная рубка задумывалась через 40-60 лет¹.

Сосняки брусничные 6-7 классов возраста с выборочными рубками интенсивностью 30-40 % через 10-20 лет характеризуются относительной полнотой 0,3-0,4 при запасе древесины 60-80 м³/га. Рост сосняков брусничных интенсивнее, чем в лишайниковом типе леса. Прирост после рубки увеличивается в первые 3-6 лет, после чего наблюдается его постепенное снижение. На вырубках, при наличии предварительного подроста, формируются разновозрастные сосняки с березой. При отсутствии подроста и наличии источников семян возникают разреженные древостои, составленные не менее 50-60 % березой (*Betula pendula* Roth.) и сосной (*P. sylvestris* L.) с участием осины (*Populus tremula* L.), под пологом которых формируется ель (*Picea Abies* L.)⁶ [15].

В притундровых сосняках следует проводить низкоинтенсивные рубки. При этом необходимо руководствоваться накопленными знаниями о динамике роста сосновых древостоев. В настоящее время таблицы хода роста сосны Крайнего Севера, которые распространяется на Европейскую часть России, частично включены в лесотаксационный справочник¹⁴. Для устойчивого лесопользования и эффективного планирования лесохозяйственных мероприятий необходимо разработать лесохозяйственные нормативы, применение которых будет соответствовать положениям климатической доктрины Российской Федерации. Ведение рационального и научно обоснованного лесного хозяйства в притундровых лесах невозможно без изучения природы этих экосистем¹⁵ [6, 16].

Интерес к притундровым лесам обуславливается рядом факторов:

- арктическая зона РФ особенно сильно подвержена различным климатическим воздействиям;
- традиционное непромышленное использование лесов коренными малочисленными народами Севера;
- требуют специфических приемов ведения в них хозяйства.

Авторами продолжена работа в направлении планомерных исследований притундровых лесов, которые впервые были выполнены Архангельским институтом леса и лесохимии (в настоящее время – Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, СевНИИЛХ) в 1950-х годах под руководством академика Ивана Степановича Мелехова и связаны с влиянием интенсивного освоения природных ресурсов Крайнего Севера. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Изучение сосновых лесов позволило сотрудникам СевНИИЛХ разработать таблицы хода роста сосны по типам леса и типам формирования древостоя, однако предельный возраст таблиц равен

¹³ Чертовской В.Г., Семенов Б.А., Шамин А.А. Практическое пособие по исследованию притундровых лесов. Архангельск: Архангельский институт леса и лесохимии, 1977. 35 с.

¹⁴ Воронин В.В. Ведение лесного хозяйства в притундровых лесах Архангельской области, история и современность. Современные

проблемы притундровых лесов: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Архангельск. 2012: 214-219.

¹⁵ Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2023 № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации». Москва: Кремль, 2023. 22 с.

60 лет, что ограничивает использование их на практике. Данные таблицы использовались как вспомогательный источник информации¹⁶ [17].

Существуют различные типологические схемы для притундровых сосняков Европейской части России. Исследователями сосняков на крайнем пределе произрастания выделены типы сосновых лесов: сосняк брусничный, лишайниковый и бруснично-лишайниковый, однако в справочной литературе данный тип леса не приведен¹⁷. В настоящей работе авторы придерживались типологии, приведенной в справочной литературе.

Целью исследования является разработка эмпирических коэффициентов для общепринятых уравнений связи таксационных показателей с возрастом в сосняках брусничных различной густоты в притундровых лесах Мурманской области.

Материалы и методы

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является сосняк брусничный в различных типах формирования на территории Мурманской области.

Предмет исследования: изучение хода роста и математическое моделирование изменения таксационных характеристик древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с возрастом.

Для изучения хода роста сосновых насаждений брусничного типа леса в 2023 году проведены полевые исследования на стационарных объектах, которые заложены в 1962 году и использованы результаты повторных пересчетов 1967 и 1972 годов. Пробные площади расположены в 267 кв. Оленегорского участкового лесничества Мончегорского лесничества Мурманской области¹⁸ в соответствии с рис. 1 (высота над уровнем моря составляет 160 м). С 1985 года указанные объекты относятся к генетическому резервату, представляющему собой высокопроизводительные сосновые насаждения Крайнего Севера, который с 2003 года находится в границах регионального заказника «Симбозерский»¹⁹. В 2023 году авторами проведена повторная таксация на стационарных пробных площадях и закладка новых объектов в том же квартале.

¹⁶ Семенов Б.А., Паршевников А.Л. Типологические схемы притундровых лесов и редколесий Архангельской области и Республики Коми. Архангельск: СевНИИЛХ, 2000: 20с.

¹⁷ Войнов Г.С. Лесотаксационный справочник по северо-востоку Европейской части Российской Федерации (нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской области и республики Коми). Архангельск, 2012: 672 с.

¹⁸ Цветков В.Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск: АГТУ. 2002: 380.

¹⁹ Лесохозяйственный регламент Мончегорского лесничества Мурманской области (в редакции от 11.06.2019). Мурманск: Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области, 2018: 155.

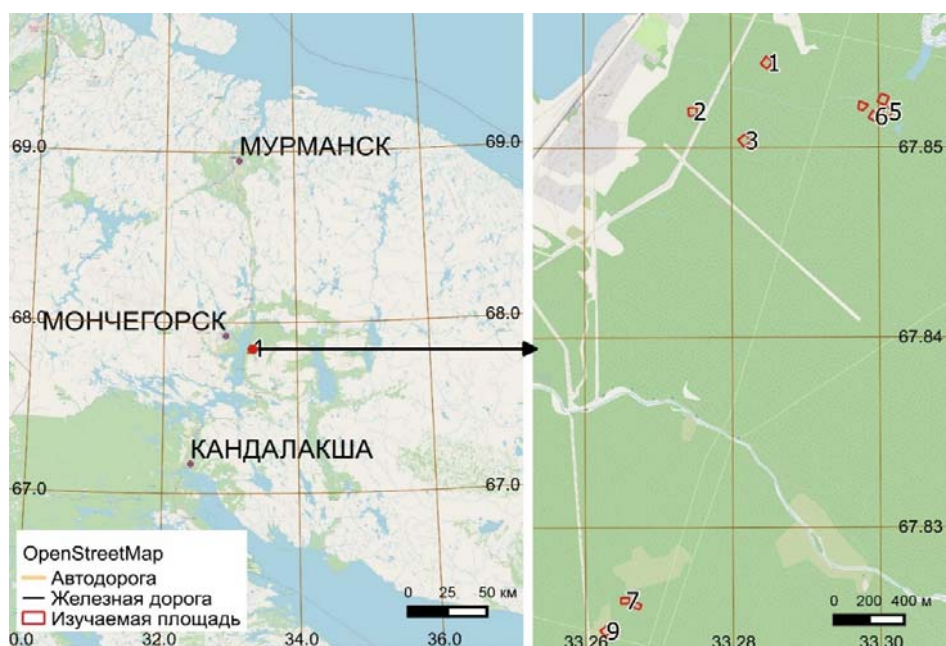


Рисунок 1. Расположение изучаемых участков сосняка брусничного в различных типах формирования на территории Мурманской области

Figure 1. The location of the studied sites of lingonberry pine forest in various types of formation on the Murmansk region

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Изучаемые сосняки являются производными после лесного пожара и сплошной рубки в 1930-х годах. Древостои характеризуются выраженным преобладанием сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.), однородностью по строению, пространственной

структуре и разделены по густоте на умеренно густые и перегущенные в соответствии с разработанными типами формирования. На рис. 2 приведены фотографии пробных площадей № 1 (а) и № 5 (б), отнесенных к различным типам формирования.



а | а



б | б

Рисунок 1. Сосняк брусничный: а – на ПП № 1*23 (умеренно густой); б – на ПП № 5*23 (перегущенный)

Figure 1. Cowberry pine on study site: а – № 1*23 (moderately thick); б – № 1*23 (overloaded)

Источник: Фото Богданова А.П.

Source: Photo by Bogdanov A.P.

Сбор данных

Для разработки эмпирических уравнений связи таксационных показателей с возрастом древостоя проведены этапы:

– подготовительный, включающий поиск доступной информации и получение данных лесоустройства, подбор участков, систематизация архивных данных, обзор литературных источников, выбор метода проведения полевых работ и обработки данных;

– полевые работы, включающий сбор данных с использованием утвержденных методик проведения подобных работ²⁰;

– камеральные работы, включающий составление уравнений с помощью прикладных программ.

Пробные площади были заложены с учетом ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесостроительные. Метод закладки». Стандарт предусматривает закладку прямоугольных и близких к ним по форме пробных площадей, ограниченных визирами. Для выдержки формы прямоугольника углы определяли при помощи буссоли Suunto KB-14/360R с точностью $1/3^\circ$. Для определения координат использовался GPS-навигатор Garmin 64 (погрешность при определении местоположения по GPS может определяться с точностью до $\pm 3,65$ м).

Подбор участков проводили на типологической основе, т.е. выбор пробных площадей производился из брусничного типа леса IV-V классов бонитета, с учетом проведенных ранее исследований в этом направлении²¹. После отграничения пробной площади и фиксации координат в GPS-навигаторе производилась перечислительная таксация древостоя. На каждой пробной площади был проведен сплошной пересчет деревьев при помощи мерной вилки (Mantax Blue, Haglof) с точностью 0,1 см. При индивидуальном пересчете деревьев проводились измерения диаметра на высоте 1,3 метра по точной

шкале, по породам и категориям технической годности. Во избежание повторного измерения дерева каждое дерево маркировалось мелом. Высоты измерялись высотомером Suunto PM-5/1520 PC (разрешающая способность $\pm 1-2\%$) у 10-15 модельных деревьев сосны (*P. sylvestris* L.) разной толщины, с точностью $\pm 0,1$ м.

Для визуализации пространственного расположения пробных площадей использовалась ГИС QGIS 2.10.

Анализ данных

Исходными данными для получения эмпирических коэффициентов и уравнения связи между таксационными показателями и возрастом древостоя являлись результаты полевых обследований на стационарных объектах, приведенные в табл. 1, и результаты исследования одного из основоположников притундрового лесоводства, В.Ф. Цветкова.

Ход роста древостоев анализировали традиционными лесоводственно-таксационными методами. В основу положен прием аналитического выравнивания таксационных показателей древостоев и статистического анализа материалов массовой таксации. Сгруппированные и выровненные данные обрабатывались с помощью статистических программ CurveExpert и Statistica 6.0 для нахождения уравнений связи между таксационными показателями и возрастом древостоя (регрессионного анализа). Связь таксационных показателей с возрастом уточнялась с помощью параболы.

Для проведения математического моделирования с целью расчета возрастной динамики таксационных показателей использовали один естественный ряд роста и развития древостоя. В качестве критериев принадлежности участка к тому или иному динамическому ряду (к одному типу формирования) принимали сходство условий местопрорастания

²⁰ Третьяков С. В., Коптев С. В., Наквасина Е. Н., Бахтин А. А., Ильинцев А. С., Богданов А. П., Кекишева Ю. Е. Лесная таксация. Часть 4. Закладка, таксация и описание пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ: учебное пособие; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2023: 119.

²¹ Сальникова И. С., Воробьева Т. С., Нагимов З. Я., Зубова С.С., Орехова О.Н., Суслов А.В. Таксация леса. Ход роста насаждений:

учебное пособие. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный лесотехнический университет". 2020: 130 с. – ISBN 978-5-94984-758-9.

(рельеф, морфологию и гидрологические особенности почвы), характеристику живого напочвенного покрова, густоту.

При вычислении запасов использовалась зависимость видовых высот (HF) от высоты. По экспериментальным данным установлено, что данный метод показывает приемлемую точность для исследуемых древостоев с помощью видовой высоты для сосновых древостоев притундрового района, вычисленной по формуле

$$HF = 1,33 + 0,4H, \quad (1)$$

где HF – видовая высота;

H – высота ствола, м.

Указанная зависимость была найдена на основе изучения модельных деревьев из Ненецкого национального округа и Республики Коми.

В литературных источниках также встречается подобная зависимость для сосновых древостоев

в лишайниковом типе леса, например, для Ханты-Мансийского автономного округа, что подтверждает предположение о прямолинейности зависимости видовой высоты от высоты древостоев [18], приведено в уравнении

$$HF = 1,23 + 0,44H. \quad (2)$$

Формула (1) скорректирована для сосновых древостоев экотопа «тайга-тундра» всех регионов европейской части Арктической зоны Российской Федерации [18]

$$HF = 1,28 + 0,41H. \quad (3)$$

Результаты

Таксационные характеристики пробных площадей, использованных для разработки уравнений связи между таксационными показателями и возрастом древостоя, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика пробных площадей в сосняках брусничных на территории Мурманской области

Table 1

Inventory characteristic of study plots of cowberry pine forest in the Murmansk region

№ N	Состав древостоя Forest stand composition	Средние таксационные показатели Average taxation indicators			Класс бонитета Bonitet class	Густота шт./га density pcs./ha		Полнота Completeness		Запас, м ³ /га Stock, m ³ /ha	
		возраст, лет age, years	высота, м height, m	диаметр, см diameter, cm		растущих growing	сухих dry	абсолютная м ² /га absolute, m ² /ha	относительная relative	растущих growing	сухих dry
1*62	10С	33	5,6	4,6	V	9560	65	20,8	1,2	92,8	0,2
1*67	10С	38	6	5,4	V	9510	115	27,1	1,6	116,7	0,3
1*72	10С	43	6,3	5,7	V	9570	160	31,4	1,8	147,0	0,8
2*62	10С	35	5,6	5,1	V	8964	84	24,0	1,4	107,8	0,6
2*67	10С	40	6,4	6,1	V	8960	276	31,3	1,8	146,4	1,3
2*72	10С	45	7,0	6,3	V	8960	360	34,4	1,8	173,2	1,2
3*62	10С	34	6,4	7,2	IV	3456	32	19,3	1,1	92,9	0,2
3*67	10С	39	6,8	8,2	V	3796	48	23,8	1,29	114,1	0,6
3*72	10С	44	7,1	8,3	V	3772	72	26,4	1,39	132,1	1,5
7*62	10С	39	6,4	6,4	V	6972	10	22,2	1,24	110,2	0,4
7*67	10С	44	7,1	7,0	V	5804	32	27,7	1,46	138,9	3,4
7*72	10С	49	7,6	7,4	V	5796	28	30,2	1,54	163,4	3,4
1*23	10С	97	15,4	19,8	IV	864	36	26,7	0,9	210	3
2*23	10С	85	15,3	19,4	IV	876	28	25,8	0,8	199	1
3*23	10С	88	13,8	15,7	IV	1672	168	32,2	1,1	231	13
4*23	10С	81	12,6	11,6	V	3615	698	38,2	1,4	257	10

№ N	Состав дре- востоя Forest stand composition	Средние таксационные показатели Average taxa- tion indicators			Класс бо- нитета Bonitet class	Густота шт./га density pcs./ha		Полнота Completeness		Запас, м³/га Stock, m³/ha	
		возраст, лет age, years	высота, м height, m	диаметр, см di- ameter, cm		растущих growing	сухих dry	абсолютная м²/га abso- lute, m²/ha	относи- тельная relative	растущих growing	сухих dry
5*23	10С	87	11,6	10,4	V	4815	908	41,2	1,6	271	8
6*23	10С	84	13,1	12,2	V	3356	544	39,1	1,4	274	9
7*23	10С	67	11,3	11,6	IV	3213	94	33,8	1,3	208	1
8*23	10С	66	12,4	12,8	IV	2592	175	33,5	1,3	227	2

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Для сосняка брусничного составлены свои уравнения связи между таксационными показателями и возрастом древостоя. Анализ динамики средних значений таксационных показателей показал существенные различия у изучаемых древостоев, несмотря на одинаковые условия роста и географическую близость расположения пробных площадей.

Зависимость густоты от возраста древостоев IV-V класса бонитета в умеренно густых и перегушенных сосновых древостоях брусничного типа леса отражает формула

$$y = ax^b, \quad (4)$$

где y – густота, тыс. шт./га;

a – постоянный коэффициент;

b – постоянный показатель степени,

x – возраст, лет.

Значения эмпирических коэффициента a и показателя степени b для уравнения (4) приведены в табл. 2. Коэффициенты для перегушенных древостоев (диапазон возраста, 20–80 лет) представлены в строке № 1. Коэффициенты для древостоев умеренной густоты (диапазон возраста, 20–180 лет) представлены в строке № 2.

Таблица 2

Значения эмпирических коэффициента a и показателя степени b уравнения (4) густоты древостоя от возраста в перегушенных и умеренной густоты сосняках брусничных

Table 2

The values of the empirical coefficient a and the exponent b of the equation (4) of stand density from age in overgrown and moderate density cranberry pine forests

№	Коэффициент a Coefficient a	Показатель степени b exponent argument	R ²	Ошибка Standard error
	1	1271,937		
2	739,685	-1,51	0,99	0,32

Примечание: 1 – перегушенный древостой (диапазон возраста, 20–80 лет); 2 – древостой умеренной густоты (диапазон возраста, 20–180 лет)

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Динамические ряды таксационных показателей древостоев сгруппированы по одному типу леса (сосняк брусничный) (см. табл. 1) и представлены уравнением:

$$y = a + bx + cx^2 \quad (5)$$

где y – искомый показатель (высота, м; диаметр, см)

a, b, c – постоянные коэффициенты,

x – средний возраст древостоя, лет.

Значения коэффициентов уравнений зависимости диаметров и высот от возраста приведены в табл. 3.

Значения эмпирических коэффициентов уравнения (5) высоты или диаметра древостоя от возраста в перегушенных и умеренной густоты сосняках брусничных

The values of the empirical coefficients of equation (5) of the height or diameter of the stand depending on age in overgrown and moderate density cranberry pine forests

№	Показатель Indicator	Значение коэффициента Coefficient value			R ²	Ошибка Standard error
		a	b	c		
IV класс бонитета IV site-quality class						
1	Н, м H, m	-3,26412	0,29861	-0,00091	0,97	0,86
2	D, см D, cm	-4,0712	0,3288	-0,0008	0,91	1,84
3	D, см D, cm	-1,0966	0,2854	-0,0006	0,89	2,65
V класс бонитета V site-quality class						
4	Н, м H, m	-1,57271	0,22577	-0,00068	0,87	0,89
5	D, см D, cm	-3,34591	0,25036	-0,00053	0,86	1,03
6	D, см D, cm	-2,90166	0,26635	-0,00067	0,95	0,42

Примечание:

1, 4 – высота в перегушенном и в умеренно густом древостое, соответственно;

2, 5 – диаметр в перегушенном древостое;

3, 6 – диаметр в умеренно густом древостое.

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Обсуждение

Разработанные модели роста сосняков брусничных IV и V классов бонитета на северном пределе произрастания в Мурманской области позволят разработать недостающие таблицы хода роста. Для сопоставления полученной модели на рис. 3 приведены возрастные динамики высот по результатам

различных исследований хода роста сосняков V класса бонитета²² [17].

При помощи *t*-теста и критерия Краскела-Уоллиса выявлены сходства и различия между исследуемыми значениями высот, приведенные на рис. 3. Результаты *t*-теста приведены в табл. 4.

²² Мошкалев А.Г., Давидов Г.М., Яновский Л.Н., Моисеев В.С., Столяров Д.П., Бурневский Ю.Н. Лесотаксационный справочник по Северо-западу СССР. – Л.: ЛТА. – 1984. – 320 с.

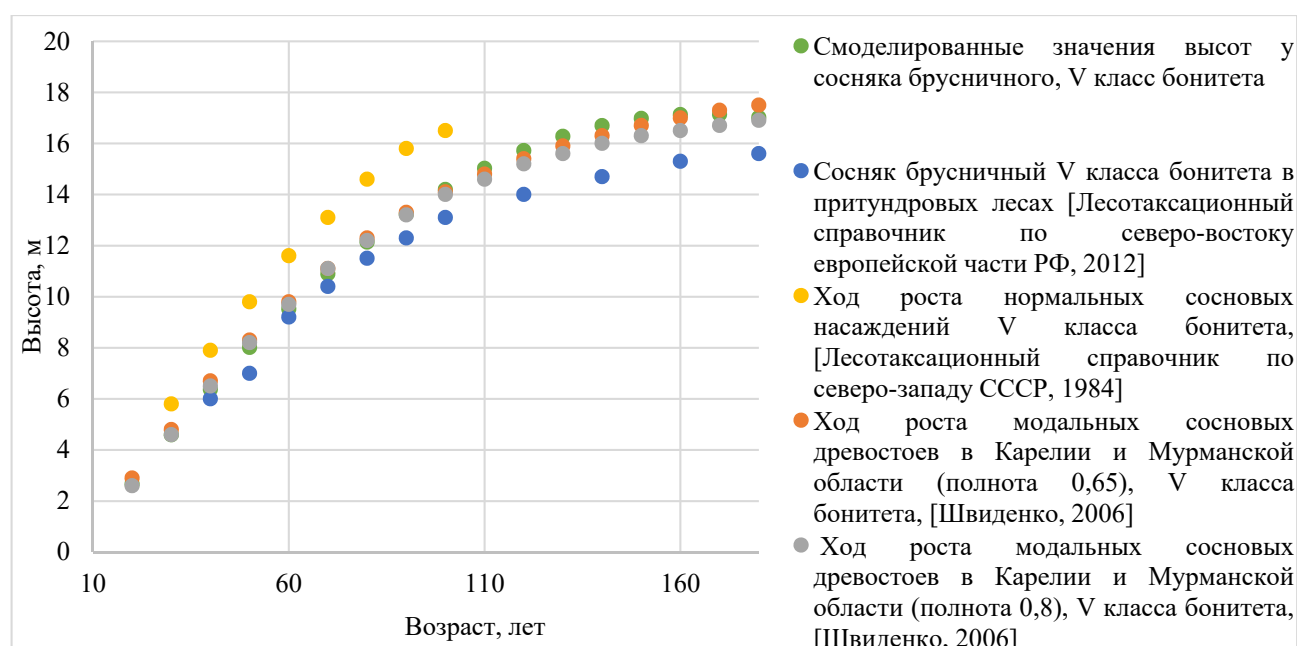


Рисунок 3. Возрастная динамика высот в сосняках

Figure 3. Age dynamics of heights in pine forests

Источник: собственная композиция авторов; источники, указанные в легенде

Source: own composition; sources mentioned in the legend

Таблица 4

Различия средних высот между вариантами таблиц хода роста в сосняках брусничных V класса бонитета

Table 4

Differences in average heights between variants of growth course tables in cranberry pine forests of the V site-quality class

Условное обозначение динамики роста Symbol for the dynamics of growth	1	2	3	4
2	$\frac{0,2}{0,12}$			
3	$\frac{0,1}{0,05}$	$\frac{0,1}{0,07}$		
4	$\frac{0,7}{0,47}$	$\frac{0,9}{0,61}$	$\frac{0,8}{0,53}$	
5	$\frac{2,1}{1,33}$	$\frac{2,0}{1,24}$	$\frac{2,0}{1,30}$	$\frac{2,8}{1,80}$

Примечание:

Числитель – абсолютная разница в м; знаменатель – достоверность различия, *t*

1 – Значения высот по результатам исследования.

2 – Ход роста модальных сосновых древостоев в Карелии и Мурманской области (полнота 0,65) [17]

3 – Ход роста модальных сосновых древостоев в Карелии и Мурманской области (полнота 0,8) [17].

4 – Ход роста модальных сосновых древостоев в притундровых лесах по типам леса. Сосняк брусничный.

5 – Ход роста нормальных древостоев.

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Значения достоверности различия меньше стандартного значения, что говорит об отсутствии различий между сравниваемыми группами.

Величина уровня достоверности p по результатам дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса составило $p=0,485$, что говорит об отсутствии различий между сравниваемыми группами.

Проведенные исследования позволяют прогнозировать рост и развитие сосняков брусничных, а также дифференцировать их по типам формирования в зависимости от густоты (перегущенные и умеренной густоты). Из табл. 1 выводим, что за период наблюдения значения таксационных показателей изменяются в связи с естественным ростом древостоя. Соответствующие значения абсолютной густоты, диаметра, высоты позволяют оценить хозяйственную ценность древостоя. Средний диаметр совместно с классом товарности позволяет не только оценить сортиментную структуру запаса насаждения в целом, но и определить выход конкретных сортиментов [19].

Кроме того, при проведении полевых работ изучалась динамика сумм площадей сечений, объем отпада, эти данные позволяют оценивать динамику накопления углерода в древесине и отпада в зависимости от возраста и полноты, бонитета [11, 16, 20].

С использованием традиционных методов аналитического выравнивания массовых материалов динамики лесоводственных и лесотаксационных характеристик сосновых древостоев прослежены ряды образования и развития сосновых древостоев в Мурманской области на северной границе естественного распространения, ограниченных водными и водно-болотными пространствами. Разработанные модели предназначены для прогнозирования лесовыращивания и лесопользования, а также для эффективного проведения лесохозяйственных мероприятий.

Выполненные исследования дополняют работы В.Т. Ярмишко и О.В. Игнатевой (2020) [21], И.Т. Кищенко (2021) [22], Л.В. Зарубиной и Р.С. Хамитова (2021) [23], Е.А. Пинаевской и др. (2020) [24], О.И. Гавриловой и др. (2020) [25] по изучению сосняков на пределе естественного распространения. Постоянные наблюдения на стационарных объектах за историю более 60 лет показывают, что на

формирование модальных сосняков в брусничном типе леса влияет первоначальная густота древостоя.

На изучаемых объектах постоянных наблюдений произрастают избыточно и умеренно густые древостои в одинаковых условиях после сплошной рубки и пожара. Другими словами, в непосредственной близости друг от друга сформировались древостои, значительно отличающиеся по густоте, что дает возможность оценить рост и особенности формирования в различных условиях. Стационарные наблюдения за ростом в сосновых древостоях наглядно показывают, что необходимо проводить комплекс лесохозяйственных мероприятий, включающий проведение рубок ухода в указанных древостоях, что позволит получать ценные сортименты и повысить природоохранные функции этих древостоев. Так как по результатам исследования А.А. Вайс и др. [26] для высокополнотных сосновых древостоев района исследования качество условий местопроизрастания не оказывает существенного влияния на санитарное состояние насаждений. Причинами снижения устойчивости сосняков авторы считают возраст, полноту, фитопатологическое состояние насаждений и климатические изменения, что подтверждает предположение о необходимости регулирования густоты.

Данные о динамике отпада по запасу позволят разработать рекомендации по хозяйственному использованию данных древостоев и оценке биологической продуктивности насаждений. Информация об особенностях динамики роста в зависимости от густоты сосняков на северном пределе произрастания способствует повышению качества планирования рубок. Совершенствование системы лесохозяйственных мероприятий в сосняках должно вестись в зависимости продуктивности древостоя и лесотипологической характеристики по исследованиям Осипенко А.Е., Залесова С.В., 2023 [27].

Заключение

Стационарные наблюдения за сосняками брусничными в Мурманской области позволят отслеживать динамику таксационных показателей, поэтому их актуальные характеристики могут отражать динамику роста в существующих условиях изменения климата.

Результаты моделирования хода роста по результатам долговременных наблюдений за производными сосняками брусничного типа леса разной густоты в Мурманской области показали особенности формирования модальных сосняков различной густоты. Показатель густоты в зависимости от возраста достаточно точно описывается степенной функцией ($R^2 = 0,96-0,99$).

Таксационные показатели средних высоты и диаметра (1,3 м) древостоя сосняка брусничного в зависимости от возраста достаточно точно аппроксимируются параболой, наибольшая точность достигается при прогнозировании высоты ($R^2 = 0,97$) древостоя как в загущенных, так и в древостоях умеренной густоты. Получены значения эмпирических

коэффициентов уравнения высоты или диаметра древостоя от возраста в перегущенных и умеренной густоты сосняках брусничных, характеризующих высокую тесноту связи ($R^2=0,86-0,97$) связь между признаками статистически значима ($p < 0,05$).

Моделирование роста производных сосняков брусничного типа леса разной густоты в Мурманской области будет способствовать составлению таблицы хода роста сосняка брусничного на северном пределе распространения в целях получения достоверной информации о количественных и качественных характеристиках защитных лесов и особо защитных участков лесов.

Список литературы

1. Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований / Н. В. Лукина, А. П. Гераскина, А. В. Горнов, Н. Е. Шевченко, А. В. Куприн, Т. И. Чернов, С. И. Чумаченко, В. Н. Шанин, А. И. Кузнецова, Д. Н. Тебенкова, М. В. Горнова // Вопросы лесной науки. 2020; 4: 1-90. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44598661>.
2. Им С. Т., Харук В. И., Ли В. Г. Миграция северной границы вечнозелёных хвойных древостоев в Сибири в XXI столетии. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020; 17(1): 176-187. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42535197>.
3. González-Díaz, P., Gazol, A., Valbuena-Carabaña, M., Sangüesa-Barreda, G., Moreno-Urbano, A., Zavala, M. A., Camarero, J. J. Remaking a stand: Links between genetic diversity and tree growth in expanding Mountain pine populations. *Forest Ecology and Management*. 2020; 472: 118244. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118244>.
4. Méndez-Cea B., García-García I., Gazol A., Camarero J. J., de Andrés E. G., Colangelo M., Linares J. C. Weak genetic differentiation but strong climate-induced selective pressure toward the rear edge of mountain pine in north-eastern Spain. *Science of the Total Environment*. 2023; 858: 159778. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159778>.
5. Housset J. M., Tóth E. G., Girardin M. P., Tremblay F., Motta R., Bergeron Y., Carcaillet C. Tree-rings, genetics and the environment: Complex interactions at the rear edge of species distribution range. *Dendrochronologia*. 2021; 69: 125863. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125863>.
6. Shah, S., Yu, J., Liu, Q., Shi, J., Ahmad, A., Khan, D., & Mannan, A. Climate growth response of *Pinus sibirica* (Siberian pine) in the Altai Mountains, northwestern China. *Pakistan Journal of Botany*. 2020; 52 (2): 593-600. DOI: [http://doi.org/10.30848/PJB2020-2\(16\)](http://doi.org/10.30848/PJB2020-2(16)).
7. Лопатин, Е. Методика выявления лесных участков, наиболее перспективных для ведения интенсивного устойчивого лесного хозяйства. *Устойчивое лесопользование*. 2016; 2(46): 16-24. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34958106>.
8. Особенности роста *Pinus sylvestris* L. в местах, ограниченных белым морем, на территории Архангельской области / А. В. Давыдов, А. П. Богданов, С. В. Третьяков, И. В. Цветков, А. А. Карабан, А. А. Парамонов // Успехи современного естествознания. 2023; 8: 23-29. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54404415>.

9. Гаврилова, О. И., Колганов Е. С., Пак К. А. Оценка успешности самовозобновления сосны на гари. Лесотехнический журнал. 2020; Т. 10. № 4 (40): 142–149. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/11. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44596669>.
10. Кутявин И. Н., Манов А. В., Дымов А. А. Динамика структуры постпирогенных древостоев сосняков брусничных Северного Приуралья (Республика Коми). Экобиотех. 2020; 3(4): 627-633. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44474058>.
11. Кутявин И. Н., Манов А. В. Биологическая продуктивность естественно развивающегося и нарушенного ветровалом сосняка лишайникового (Республика Коми). Сибирский лесной журнал. 2019; 2: 53-63. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38241764>.
12. Робакидзе Е. А., Бобкова К. С. Мониторинг состояния *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в сосняках лишайниковых при загрязнении выбросами сыктывкарского лесопромышленного комплекса (Республика Коми). Растительные ресурсы. 2022; 58 (4): 417-430. DOI: <http://doi.org/10.31857/S0033994622040094>. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49937841>.
13. Манов А. В., Кутявин И. Н. Структура древостоя в старовозрастном постпирогенном сосняке бруснично-лишайниковом в бассейне реки Печоры. Лесоведение. 2018; 6: 434-443. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36311765>.
14. Тюкавина О. Н., Феклистов А. П. Пожароустойчивость сосновых древостоев на севере Архангельской области. Лесоведение. 2019; 6: 501-511. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41151920>.
15. Залесова Е. С., Белов Л. А., Залесов С. В., Тимербулатов Ф. Т., Чермных А. И. Влияние типа леса и полноты древостоев на обеспеченность подростом спелых и перестойных сосняков подзоны северной тайги. Международный научно-исследовательский журнал. 2019; 11-2(89): 37-41. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41369156>.
16. Кутявин И. Н., Бобкова К. С. Биологическая продуктивность сосновых фитоценозов северного Приуралья (республика Коми). Лесоведение. 2017; 1: 3-16. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28147870>.
17. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии: нормативно-справочные материалы / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко, С. Нильссон, Ю. И. Булуй ; М-во природных ресурсов Российской Федерации, Федеральное агентство лесного хоз-ва, Международный ин-т прикладного системного анализа. Москва: 2006. 803 с. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19495378>.
18. Богданов А. П., Третьяков С. В., Давыдов А. В. Унифицированные таблицы объемов стволов для насаждений сосны обыкновенной на северном пределе их распространения в Архангельской и Мурманской областях, Республиках Карелия и Коми. Материалы VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». 2023; 177-179. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54723470>.
19. Михайлова, М. И., Чернышов М. П. Особенности строения географических лесных культур сосны обыкновенной по диаметру. Лесотехнический журнал. 2021; Т. 11. № 1 (41): 46–55. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44938463>. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/4.
20. Ануев Е. А., Вайс А. А. Оценка бюджета углерода отпада ствольной древесины сосновых насаждений Сибири по таблицам хода роста. Хвойные бореальной зоны. 2019; 37(1): 17-24. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37078269>.
21. Ярмишко В. Т., Игнатьева О. В. Скорость роста и структура фитомассы *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в средневозрастных сосняках Мурманской области. Растительные ресурсы. 2020; 56 (4): 314-325. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44220254>.
22. Кищенко, И. Т. Сезонный рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в таежной зоне Карелии на разных этапах онтогенеза // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2021; 25 (2): 19-24. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45662491>.

23. Зарубина Л. В., Хамитов Р. С. Сезонный рост сосны обыкновенной на заболоченных почвах Севера // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021; 3 (381): 86-100. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45830008>.
24. Пинаевская Е. А., Тарханов С. Н., Пахов А. С. Особенности роста разных форм сосны обыкновенной в кустарничково-сфагновом типе леса устья реки Онега. Социально-экологические технологии. 2020; 10 (2): 151-169. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44258591>.
25. Гаврилова О. И., Морозова И. В., Ольхин Ю. В. Динамика роста и оценка состояния культур сосны обыкновенной навейниково-луговиковых вырубках методами дистанционного зондирования. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020; 1 (373): 63-74. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42446371>.
26. Оценка состояния и продуктивности высокоплотных сосновых насаждений подтаежно-лесостепного района Средней Сибири / А. А. Вайс, П. В. Михайлов, А. И. Мельник, С. А. Чанчикова, О. А. Герасимова, Е. А. Ануев, А. Г. Неповинных // Лесотехнический журнал. 2022. – Т. 12. – № 3 (47). – С. 26–41. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/3>.
27. Осипенко А. Е., Залесов С. В. Разновозрастность сосновых древостоев как фактор гармонизации системы лесохозяйственных мероприятий в ленточных борах Алтайского края // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 1 (49). – С. 129–145. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/9>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53814694>.

References

1. Lukina N.V., Gerasikina A.P., Gornov A.V., Shevchenko N.E., Kuprin A.V., Chernov T.I., Chumachenko S.I., Shani V.N., Kuznetsova A.I., Tebenkova D.N., Gornova M.V. Bioraznoobrazie i klimatoregulirujushhie funkicii lesov: aktual'nye voprosy i perspektivy issledovaniy [Biodiversity and climate regulating functions of forests: current issues and prospects for research]. Voprosy lesnoy nauki [Questions of forest science]. 2020; 3(4): pp. 1-90. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44598661>.
2. Im S.T., Kharuk V.I., Lee V.G. Migracija severnoj granicy vechnozelnjonyh hvojnnyh drevostoev v Sibiri v XXI stoletii [Migration of the northern evergreen needleleaf timberline in Siberia in the 21st century]. Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2020; 17(1): pp. 176-187. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42535197>.
3. González-Díaz P., Gazol A., Valbuena-Carabaña M., Sangüesa-Barreda G., Moreno-Urbano A., Zavala M. A., Camarero J. J. Remaking a stand: Links between genetic diversity and tree growth in expanding Mountain pine populations. Forest Ecology and Management, (2020): 472, 118244. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118244.
4. Méndez-Cea B., García-García I., Gazol A., Camarero J. J., de Andrés E. G., Colangelo M., Linares J. C. (2023). Weak genetic differentiation but strong climate-induced selective pressure toward the rear edge of mountain pine in north-eastern Spain. Science of the Total Environment, 858, 159778. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.159778.
5. Housset J. M., Tóth E. G., Girardin M. P., Tremblay F., Motta R., Bergeron Y., Carcaillet C. Tree-rings, genetics and the environment: Complex interactions at the rear edge of species distribution range. Dendrochronologia, (2021): 69, 125863. DOI: 10.1016/j.dendro.2021.125863.
6. Shah S., Yu J., Liu Q., Shi J., Ahmad A., Khan D., Mannan A. Climate growth response of pinus sibirica (Siberian pine) in the Altai Mountains, northwestern China. Pakistan Journal of Botany. 2020; 52 (2): pp. 593-600. DOI: 10.30848/PJB2020-2(16).
7. Lopatin E. Metodika vyyavleniya lesnykh uchastkov, naiboleye perspektivnykh dlya vedeniya intensivnogo ustoychivogo lesnogo khozyaystva [Methodology for identifying forest areas that are most promising for intensive sustainable forestry]. Ustoychivoye lesopol'zovaniye [Sustainable forest management]. 2016; 2(46): pp.16-24. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34958106>
8. Davydov A.V., Bogdanov A.P., Tret'yakov S.V., Tsvetkov I.V., Karaban A.A., Paramonov A.A. Osobennosti rosta Pinus sylvestris L. V mestakh, ogranichennykh belym morem, na territorii Arkhangel'skoy oblasti [Growth features of pinus sylvestris L. In places bounded by the White sea On the territory of the Arkhangelsk region]. Uspekhi

sovremennogo yestestvoznaniya [Advances in current natural sciences]. 2023; (8): pp. 23-29. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54404415>.

9. Gavrilova O.I., Kolganov E.S., Pak K.A. (2020) Evaluation of success of pine self-renewal forests on burnt-out areas. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 10, No. 4 (40), pp. 142-149 (in Russian). DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/11. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44596669>.

10. Kutyavin I. N., Manov A. V. V., Dymov A. A. Dinamika struktury postpirogennyh drevostoev sosnjakov brusnichnyh Severnogo Priural'ja (Respublika Komi) [The structure dynamics of post-pyrogenic cowberry pine stands of the Northern Cis-ural (Komi Republic)]. *Jekobiotech* [Ecobiotech]; 2020. 3(4): pp. 627-633. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44474058>.

11. Kutyavin I. N., Manov A. V. Biologicheskaja produktivnost' estestvenno razvivajushhegosja i narushennogo vetrovalom sosnjaka lishajnikovogo (Respublika Komi) [Biological productivity of the naturally developing and disturbed by windfall lichen pine forest (Komi Republic)]. *Sibirskij lesnoj zhurnal* [Siberian Forestry Journal]. 2019; 2: pp. 53-63. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38241764>.

12. Robakidze, E.A., Bobkova K.S. Monitoring sostojanija Pinus sylvestris (Pinaceae) v sosnjakah lishajnikovyh pri zagrizanii vybrosami syktyvkarskogo lesopromyshlennogo kompleksa (Respublika Komi). [Monitoring the state of scots pine in lichen pine forests affected by emissions from Mondi Syktyvkar timber industry complex (Komi Republic)]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 2022; 58 (4): pp. 417-430. (In Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49937841>.

13. Manov A. V. V., Kutyavin I. N. Struktura drevostoja v starovozrastnom postpirogennom sosnjake brusnichno-lishajnikovom v bassejne reki Pechory [Structure of a stand in an old-growth post-pyrogenic lingonberry-lichen pine forest in the Pechora River basin]. *Lesovedenie*. [Russian Journal of Forest Science]. 2018; 6: pp. 434-443. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36311765>.

14. Tyukavina O. N., Feklistov P. A. Pozharoustoychivost' sosnovykh drevostoyev na severe Arkhangel'skoj oblasti [Fire Resilience of Pine Stands in the North of Arkhangelsk Oblast]. *Lesovedeniye* [Forestry] 2019. 6. pp. 501-511. (In Russ.). – URL: <http://lesovedenie.ru/index.php/forestry/article/view/1211>

15. Zalesova, E. S., Belov, L. A., Zalesov, S. V., Timerbulatov, F. T., Chermnykh, A. I. Vlijanie tipa lesa i polnoty drevostoev na obespechennost' podrostom spelyh i perestojnyh sosnjakov podzony severnoj tajgi. [Influence of forest type and normality on security of matter of ripe and perennial pine winds of north taiga subzone]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Research Journal]. 2019; 11-2(89): pp. 37-41. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41369156>.

16. Kutyavin, I. N., Bobkova, K. S. Biologicheskaja produktivnost' sosnovykh fitocenzozov severnogo Priural'ja (respublika Komi). [Bioproductivity of pine phytocoenoses in the Northern Cisurals Region (the Republic of Komi)]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science]. 2017. (1): 3(16). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28147870>. (In Russ.)

17. Shvidenko, A.Z., Szczepaschenko, D. G., Nielson, S., Buluj, Y. I. (2008). Tablicy i modeli hoda rosta i produktivnosti nasazhdenij osnovnyh lesoobrazujushhih porod Severnoj Evrazii: normativno-spravochnye materialy [Tables and models of growth and productivity of forests of major forest forming species of Northern Eurasia standard and reference materials] (In Russ.). – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19495378>.

18. Bogdanov A.P., Tretyakov S.V., Yaroslavtsev S.V., Davydov A.V. Unificirovannye tablicy ob'emov stvolov dlja nasazhdenij sosny obyknovnoj na severnom predele ih rasprostraneniya v Arhangel'skoj i Murmanskoy oblastjah, Respublikah Karelija i Komi [Unified tables of trunk volumes for stands of common pine at the northern limit of their distribution in the Arkhangelsk and Murmansk Regions, Republics of Karelia and Komi]. *Materialy VIII Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Les Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie»* [Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference "Forests of Russia: policy, industry, science, education] 2023: pp. 177-179. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54723470>.

19. Mikhailova M.I., Chernyshov M.P. (2021) Structural features of provenance trial plantations of pine in terms of diameter. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 1 (41), pp. 46-55 (in Russian). – URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=44938463>. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/4.
20. Anuev, E.A., Weiss, A.A. Ocenka bjudzhetnogo ugleroda otpada stvolovoj drevesiny sosnovykh nasazhdenij Sibiri po tablicam hoda rosta. [Estimation of the carbon budget of stem wood falling of pine plantations of Siberia by growth tables]. *Hvojnnye boreal'noj zony* [Conifers of the boreal zone], 2019; 37(1): pp. 17-24. (In Russ.). –URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37078269>.
21. Jarmishko V.T., Ignat'eva O.V. Skorost' rosta i struktura fitomassy *Pinus sylvestris* (Pinaceae) v srednevozrastnykh sosnjakah Murmanskoj oblasti. [Growth rate and phytomass structure of *pinus sylvestris* (pinaceae) in the middle-aged scots pine forests of the Murmansk region] *Rastitel'nye resursy*. 2020; T. 56, № 4. pp. 314-325. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44220254>.
22. Kishhenko I.T. Sezonnij rost sosny obyknovnoj (*Pinus sylvestris* L.) v taezhnoj zone Karelii na raznykh etapah ontogeneza [Scots pine (*pinus sylvestris* L.) seasonal growth at different stages of ontogenesis in taiga zone (Karelia)]. *Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin*. 2021; T. 25, № 2. pp. 19-24. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45662491>
23. Zarubina L.V., Hamitov R.S. Sezonnij rost sosny obyknovnoj na zabolochennykh pochvah Severa [Seasonal growth of scots pine under the conditions of water-logged soils of the north]. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2021; № 3(381). pp. 86-100. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45830008>.
24. Pinaevskaja E.A., Tarhanov S. N., Pahov A.S. Osobennosti rosta raznykh form sosny obyknovnoj v kustarnichkovo-sfagnovom tipe lesa ust'ja reki Onega [Growth features of different forms of scots pine in the shrub-sphagnum forest type estuary of the Onega river]. *Social'no-jekologicheskie tehnologii*. 2020; T. 10, № 2. pp.151-169. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44258591>.
25. Gavrilova O. I., Morozova I. V., Ol'hin Ju. V. Dinamika rosta i ocenka sostojanija kul'tur sosny obyknovnoj na vejnikovno-lugovikovykh vyrubkah metodami distancionnogo zondirovanija [Growth Dynamics and Status Assessment of Scots Pine Crops on Reedgrass Meadow Cuts by Remote Sensing Techniques]. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2020; № 1 (373). pp. 63-74. (In Russ) – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42446371>.
26. Vais A. A., Mikhailov P. V., Melnik A. I., Chanchikova S. A., Gerasimova O. A., Anuev E. A., Nepovinnykh A. G. (2022) Assessment of the condition and productivity of high pine plantations in the subtaiga forest-steppe region of Central Siberia. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 12, No. 3 (47), pp. 26–41 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/3>.
27. Osipenko A. E., Zalesov S. V. (2023). Age differences of pine stands as a factor of harmonization of the system of forest management activities in ribbon forests of the Altai Krai. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 1 (49), pp. 129-145 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/9> – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53814694>.

Сведения об авторах

Третьяков Сергей Васильевич – д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13. г. Архангельск, 163062, Российская Федерация; профессор кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Сев. Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5982-3114>; e-mail: s.v.tretyakov@narfu.ru.

✉ *Богданов Александр Петрович* – канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13. г. Архангельск, 163062, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1655-7212>; e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru.

Цветков Илья Васильевич – канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13. г. Архангельск, Российская Федерация; 163062, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства,

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1559-32540>; e-mail: i.tsvetkov@narfu.ru.

Давыдов Александр Владимирович – лаборант-исследователь, ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13, г. Архангельск, 163062; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4328-7040>; e-mail: davydov.a@edu.narfu.ru.

Карaban Алексей Александрович – лаборант-исследователь, ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13, г. Архангельск, Российская Федерация; 163062; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2934-0303>; e-mail: karaban.a@edu.narfu.ru.

Information about the authors

Sergey V. Tretyakov – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Scientific Officer of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; Professor of the Department of Forestry and Forest Management, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, embankment of the Northern Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5982-3114>; e-mail: s.v.tretyakov@narfu.ru.

✉ *Alexander P. Bogdanov* – Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1655-7212>; e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru.

Ilya V. Svetkov – Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Management, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, embankment of the Northern Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1559-32540>; e-mail: i.tsvetkov@narfu.ru.

Alexander V. Davydov – Laboratory-researcher of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4328-7040>; e-mail: davydov.a@edu.narfu.ru.

Aleksey A. Karaban – Laboratory-researcher of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2934-0303>; e-mail: karaban.a@edu.narfu.ru.

✉ – Для контактов/Corresponding author