

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА / REGIONAL AND BRANCH ECONOMICS

Редактор рубрики *Н. С. Селиверстова* / Rubric editor *N. S. Seliverstova*

Научная статья

<https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.4.716-744>

УДК 330.3:332.1:502/504:546.26:630(470.22)

JEL: L73, O13, Q23, Q5, R11

А. А. Высоких-Альясири¹

¹ *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

Экономический эффект депонирования углерода от интенсификации лесопользования: анализ и прогноз для Республики Карелия

Алена Александровна Высоких-Альясири, аспирант, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

E-mail: Alena.Vysokikh@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3750-4299>

Web of Science ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/ISV-4554-2023>

Аннотация

Цель: оценка экономического потенциала депонирования углерода для группы компаний в Республике Карелия в контексте интенсивного лесопользования.

Методы: SWOT-анализ; оценка проекта лесопользования по международной методологии VM10, Verified Carbon Standard 2016 и прогноз выручки от продажи углеродных единиц.

Результаты: потенциал российского лесопользования в контексте Парижского соглашения не оспаривается, однако оценка экономического потенциала депонирования углерода отдельных хозяйствующих субъектов в данный момент остается открытым вопросом. В рамках исследования произведена оценка эффекта от продажи углеродных единиц, полученных с проектов интенсификации лесопользования с учетом максимального срока аренды для арендной территории 2,25 млн га, которые могут достигнуть в среднем 23 млн руб. в год с 2023 по 2034 г. и в среднем 42 млн руб. в год с 2023 по 2050 г., без учета капитальных затрат на лесозаготовку и подготовку, валидацию, верификацию и регистрацию климатического проекта, проведение полевых наблюдений для обеспечения мониторинга. Исследование доказывает, что долгосрочные инвестиции в интенсификацию лесопользования и выбор более длительного периода климатического проекта могут привести к более высоким доходам на гектар от продажи углеродных единиц.

Научная новизна: заключается в экономической оценке нормативно-правовых ограничений на цену углеродной единицы для лесных климатических проектов с учетом максимального срока аренды, предусмотренного национальным законодательством. Полученные результаты обосновывают экономические вызовы, связанные с текущими нормативами, а также предоставляют информацию о вариативности эффективности проекта в зависимости от выбранного срока его реализации.

Практическая значимость: основные результаты работы могут быть использованы в практической деятельности хозяйствующих субъектов, а также органами, формирующими политику лесопользования.

Ключевые слова:

региональная и отраслевая экономика, интенсификация лесопользования, депонирование углерода, углеродные единицы, изменение климата, устойчивое лесопользование

Статья находится в открытом доступе в соответствии с Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), предусматривающем некоммерческое использование, распространение и воспроизводство на любом носителе при условии упоминания оригинала статьи.

Как цитировать статью: Высоких-Альясир, А. А. (2023). Экономический эффект депонирования углерода от интенсификации лесопользования: анализ и прогноз для Республики Карелия. *Russian Journal of Economics and Law*, 17(4), 716–744. <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.4.716-744>

Scientific article

A. A. Vysokikh-Al-Yasiri¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Economic effect of carbon storage due to forest management intensification: analysis and forecast for the Republic of Karelia

Alena A. Vysokikh-Al-Yasiri, post-graduate student, Lomonosov Moscow State University

E-mail: Alena.Vysokikh@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3750-4299>

Web of Science ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/ISV-4554-2023>

Abstract

Objective: to assess the economic potential of carbon storage for a group of companies in the Republic of Karelia in the context of intensive forest management.

Methods: SWOT analysis; assessment of a forest management project according to the VM10 international methodology, Verified Carbon Standard 2016 and forecast of revenues from selling carbon units.

Results: the potential of Russian forest management in the context of the Paris Agreement is not disputed, but the assessment of the economic potential of carbon storage of individual economic entities at the moment remains open for discussion. The study estimates the effect of selling carbon units from forest management intensification projects, taking into account the maximum lease term for the area of 2.25 million hectares. This effect can reach an average of 23 million rubles per year from 2023 to 2034 and an average of 42 million rubles per year from 2023 to 2050, excluding the capital costs of logging and preparation, validation, verification and registration of the climate project, and field observations to ensure monitoring. The study proves that long-term investments in forest management intensification and a longer period of the climate project can lead to higher income per hectare from selling carbon units.

Scientific novelty: it consists in the economic evaluation of regulatory restrictions on the price of carbon unit for forest climate projects, taking into account the maximum lease term stipulated by national legislation. The obtained results substantiate the economic challenges associated with the current regulations and provide information on the variability of project efficiency depending on the selected term of its implementation.

Practical significance: the main results of the research can be used in the practical activity of economic entities, as well as by the bodies forming the policy of forest management.

Keywords:

regional and sectoral economy, forest management intensification, carbon storage, carbon units, climate change, sustainable forest management

The article is in Open Access in compliance with Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), stipulating non-commercial use, distribution and reproduction on any media, on condition of mentioning the article original.

For citation: Vysokikh-Al-Yasiri, A. A. (2023). Economic effect of carbon storage due to forest management intensification: analysis and forecast for the Republic of Karelia. *Russian Journal of Economics and Law*, 17(4), 716–744. (In Russ.). <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.4.716-744>

Введение

Интенсивное лесопользование играет важную роль в увеличении поглощающей способности лесных экосистем и снижении уровня парниковых газов (далее – ПГ) в атмосфере. В условиях глобальных изменений климата необходимость исследований и разработки стратегий по увеличению поглощения углерода в лесах становится критической. Повышение поглощающей способности лесов может смягчить негативные последствия изменений климата и способствовать достижению целей Парижского соглашения.

Вместе с тем оценка экономического потенциала депонирования углерода для отдельных хозяйствующих субъектов в данный момент остается открытым вопросом. В этой связи использование современных методик оценки с учетом актуальных данных одного из регионов России может продемонстрировать возможности оценки экономического эффекта.

Цель данной статьи заключается в оценке экономического потенциала депонирования углерода при использовании метода интенсификации лесопользования для лесопромышленной группы компаний в Республике Карелия в результате реализации результатов потенциального климатического проекта по улучшению управления лесным хозяйством за счет снижения воздействия лесозаготовок¹. Мы сосредоточимся на выполнении следующих задач: 1) опишем характеристики бореальных лесов и их роль в глобальном климате; 2) рассмотрим понятие «интенсификация лесопользования» и его применимость для лесной экономики Российской Федерации; 3) проанализируем научный дискурс в области углеродного баланса лесов; 4) оценим базовую линию выбросов и поглощений парниковых газов в периметре лесопромышленной группы компаний в обозначенном регионе за среднесрочный период; 5) смоделируем сценарии роста поглощающей способности лесов в аренде за счет внедрения интенсификации лесопользования в выбранном регионе; 6)–оценим диапазон доходности климатического проекта по улучшению управления лесным хозяйством за счет снижения воздействия лесозаготовок в рамках применения интенсивных методов лесопользования; 7) в выводах исследования определим эмпирически доказанные ограничения и рекомендации по развитию экономических стимулов снижения выбросов парниковых газов в рамках реализации климатических проектов по улучшению управления лесным хозяйством в результате интенсификации лесопользования в Российской Федерации.

Данное исследование может быть полезно для принятия решений в области как лесного хозяйства, так и климатической политики. Мы надеемся, что результаты исследования внесут вклад в расширение применения научных подходов и будут стимулировать практические действия по развитию устойчивого лесопользования.

В рамках исследования были проведены анализ литературных источников, обзор оценок интенсивного лесопользования в мире и в Российской Федерации, а также его влияния на процесс депонирования углерода. Результаты исследования на конкретном примере показывают значительный потенциал интенсификации лесопользования в контексте сокращения выбросов углерода и борьбы с изменением климата.

Научная новизна данной работы заключается в практической оценке доходной части применения интенсивного лесопользования в России в контексте депонирования углерода. Эмпирические выводы об экономической эффективности данной практики подчеркивают значительные потери, вызванные нормативными ограничениями, в частности, ограниченным сроком аренды. Кроме того, проведен расчет удельной эффективности климатического проекта на гектар для данного региона и типа лесов, учитывая различные сроки реализации климатического проекта. Эти результаты не только обосновывают экономические вызовы,

¹ Здесь и далее наименование проекта «по улучшению управления лесным хозяйством за счет снижения воздействия лесозаготовок» используется согласно методике реализации климатического проекта № 0012 «Улучшение управления лесным хозяйством, в том числе снижение воздействия лесозаготовок». Разработчик – Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля. Версия 2.0 от 24 августа 2023 г.

связанные с текущими нормативами, но также предоставляют информацию о вариативности эффективности проекта в зависимости от выбранного срока его реализации.

Обзор литературы. В контексте данной научной статьи представлен обширный анализ актуальных исследований, охватывающий три ключевых аспекта: бореальные леса России и их существенная роль в глобальном углеродном балансе; явление интенсификации лесопользования, его масштабы и анализ, а также проблемы оценки процессов поглощения углерода в российских лесах и взаимосвязанных вызовов интенсификации лесопользования. В этом контексте данная статья направлена на анализ существующих источников, которые позволяют осветить проблему с разных сторон: как с точки зрения потенциала лесных экосистем и их вклада в глобальные процессы адаптации и митигации к изменениям климата, так и на уровне конкретной отрасли – лесной промышленности и ее эффективности. Стоит подчеркнуть, что в данной работе не рассматриваются технические аспекты оформления климатических проектов, а также этапы их разработки.

Результаты исследования

1. Лесопользование и углеродный баланс России: теоретические основы и взаимосвязь

1.1. Бореальные леса России и их роль в глобальном углеродном балансе

Бореальные леса, также известные как таежные леса или леса хвойных пород, являются одним из крупнейших биомов на планете и распространены в северных широтах Земли. Они охватывают обширные территории в Северной Америке, Евразии и Скандинавии и составляют 27 % площади лесов мира (ФАО, 2021). Бореальные леса характеризуются преобладанием хвойных деревьев, таких как сосна, ель, лиственница, секвойя, кедр и т. д., а также сопутствующих лиственных пород, таких как береза и осина. Они встречаются в субарктических и умеренных климатических зонах с холодными зимами и короткими летними сезонами. Охватывают преимущественно тундровую, таежную и лесостепную зоны.

Площадь лесного фонда Российской Федерации составляет около 1 200 млн га; земли, покрытые лесной растительностью, занимают около 800 млн га (Food and Agriculture Organisation, 2005). Леса России в основном бореальные: их площадь составляет 88 % покрытой лесом земли. Бореальные леса России представляют собой огромный и уникальный экосистемный комплекс, который охватывает значительную часть северных и центральных регионов страны. Это один из самых обширных и значимых лесных массивов на планете; он играет важную роль в глобальном климате и биологическом разнообразии. Бореальные леса простираются на севере европейской части страны, в Сибири и на Дальнем Востоке. Это делает Россию одной из стран с самыми обширными бореальными лесными массивами в мире.

Бореальные леса России являются объектом лесохозяйственной деятельности, включающей лесозаготовки и производство различных типов лесных товаров: пиломатериалов, фанеры, бумаги, картона, щепы, паллет, строительных материалов, мебели и др. Бореальные леса России характеризуются следующим породным составом деловой древесины, предназначенной для использования в различных отраслях промышленности и строительства: сосна, ель, лиственница, береза, осина и дуб.

Бореальные леса играют важную роль в глобальном климате, поглощая углерод и выпуская кислород в процессе фотосинтеза. Они являются важным резервуаром углерода и способствуют снижению уровня парниковых газов в атмосфере. Значительный вклад в науку и в фундаментальные знания о роли лесов, в том числе бореальных, в изменении климата осуществили многие исследователи. Goodale с соавторами (2002) провели исследование масштабов запасов углерода в лесах Северного полушария на площади 2 млрд га на территории США, Европы, Китая, Канады, европейской и азиатской частей России. Один из выводов исследования заключался в том, что прирост запасов углерода в растительности по итогам 1980-х гг. происходил благодаря относительно управляемым лесам в Европе, европейской части России и Китае, а сокращение запасов углерода происходило в неуправляемых бореальных лесах Канады и азиатской части России из-за обширных нарушений, таких как насекомые-вредители и лесные пожары. Bonan (2008) обсуждает различные аспекты взаимодействия лесов и климата, анализирует влияние лесов на климатические процессы, включая их роль в углеродном цикле и способность лесов поглощать парниковые газы. Pan с соавторами (2011) показывают, что мировые леса являются значительным поглотителем углерода и особое значение имеют

бореальные леса, которые обладают высоким потенциалом для удержания углерода на длительные периоды времени. Houghton с соавторами (2012) исследуют вклад изменений в использовании земли и покрова земли в выбросы углерода. Gauthier с соавторами (2015) акцентирует внимание на здоровье и устойчивости бореальных лесов в условиях глобальных изменений.

1.2. Интенсификация лесопользования, его распространение и анализ

Цель управления лесами заключается в достижении баланса между потребностями общества, сохранением биологического разнообразия, защитой окружающей среды и устойчивым использованием лесных ресурсов для настоящих и будущих поколений. Согласно органу при ООН, ответственному за сельское хозяйство и продовольствие (ФАО, 2021), площадь лесов, в отношении которых осуществляются планы управления, растет во всех регионах мира: с 2000 г. площадь таких лесов в мире увеличилась на 233 млн га и в 2020 г. составила 2,05 млрд га, или 54 % общей площади лесов. Основные составляющие управления лесами: а) планирование и мониторинг лесов: разработка долгосрочных стратегий и планов управления лесами, а также систематическое наблюдение и оценка состояния лесов с использованием различных инструментов и методов; б) защита и сохранение лесов: принятие мер для предотвращения и контроля лесных пожаров, борьбы с вредителями и болезнями, а также защиты уязвимых экосистем и редких видов растений и животных; в) хозяйственное использование лесов: организация лесозаготовок, древесных промыслов и других видов хозяйственной деятельности с учетом принципов устойчивого использования ресурсов и минимизации негативных воздействий на окружающую среду; г) восстановление лесов (лесовосстановление): осуществление мероприятий по восстановлению вырубленных лесных участков, посадке новых деревьев и восстановлению природных лесных экосистем; д) социальное управление лесами: вовлечение местных сообществ, коренных народов и других заинтересованных сторон в процессы принятия решений и управления лесами, учет социальных и культурных аспектов при разработке стратегий управления; е) лесное законодательство и политика: разработка и реализация законодательных актов, нормативных документов и политических мер, направленных на регулирование лесного сектора, защиту прав собственности, установление стандартов и норм устойчивого использования лесных ресурсов.

Идея интенсивного лесопользования как метода хозяйственного использования лесов была впервые предложена в 1960-х гг. и с тех пор получила широкое распространение как в международной, так и в национальной практике лесного хозяйства. Она основывается на принципах экономической эффективности, социальной ответственности и экологической устойчивости. Интенсивное лесопользование – это концепция и подход к управлению эксплуатационными лесами, основанный на повышении продуктивности и эффективности использования лесных ресурсов с целью удовлетворения растущих потребностей общества в древесных материалах. Одним из ключевых аспектов интенсивного лесопользования является увеличение объема целевой древесной продукции, получаемой с определенной площади лесного участка, при соблюдении принципов устойчивого лесопользования. Это достигается путем применения современных технологий лесозаготовки, использования высокопроизводительного лесного оборудования, внедрения новых методов и подходов к лесному хозяйству. Наиболее емким представляется определение интенсификации лесопользования Романюк (2013, с. 9):

«Интенсивное лесопользование – это экономическая модель ведения лесного хозяйства и управления экономическим циклом лесовыращивания, направленная на получение сортиментов, пользующихся рыночным спросом. При таком лесопользовании все элементы хозяйственного цикла, в частности лесовосстановление, уход за лесом, развитие инфраструктуры, нацелены на обеспечение максимальной эффективности процесса получения лесоматериалов... Антиподом интенсивной модели лесопользования можно считать экстенсивное лесопользование, которое практикуется в России и преобладает в Канаде. Экстенсивная модель строится на совершенно других экономических и лесоводственных подходах и подразумевает прежде всего пионерное освоение лесных территорий».

В России в настоящий момент происходит переход от экстенсивного лесопользования в первичных лесах к интенсивному лесопользованию во вторично управляемых лесах, что обусловлено необходимостью максимизировать товарную лесопroduкцию и удовлетворить растущий спрос на древесину. Нормативы для модели интенсивного использования и воспроизводства лесов в Российской Федерации являются частью Правил ухода

за лесами: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.07.2020 № 534 «Об утверждении Правил ухода за лесами»². Переход к интенсивному лесопользованию в России происходит под влиянием скандинавской модели одновозрастного лесоводства (Dobrynin et al., 2021). Исследователи называют такой способ ведения лесного хозяйства шведско-финской моделью, основной особенностью которой является создание правильной системы проведения рубок ухода, которые, помимо удаления поврежденных, больных или мертвых деревьев и устранения возможных опасностей, таких как поваленные или наклоненные деревья, также способствуют снижению конкуренции между деревьями за доступ к ресурсам: свету, воде и питательным веществам – способствуют лучшему росту и развитию целевых пород деловой древесины, тем самым увеличивая производительность вторичных лесов и снижая освоение первичных лесов.

Финляндия и Швеция – ключевые игроки на мировом рынке лесной продукции с несопоставимо меньшими площадями лесов в сравнении с Российской Федерацией – ведут активную практическую и исследовательскую деятельность по управлению своими лесными ресурсами, среди факторов высокой продуктивности лесов исследователями рассматривается интенсификация лесопользования и проведение рубок ухода. В ходе анализа сценариев национального уровня на основании данных по 46 295 выборочным участкам 10-й Национальной инвентаризации лесов Финляндии было выявлено, что интенсивное управление лесами имеет значительный потенциал как для устойчивого увеличения ежегодной вырубки, так и для повышения улавливания углерода из атмосферы. Нунупен с соавторами (2015) показали, что интенсификация лесопользования в Финляндии приводит к увеличению годовой абсорбции парниковых газов приблизительно на 40 % и повышению рентабельности лесопользования почти на 50 %. Elbakidze с соавторами (2013) рассматривают разницу в подходах и реализации устойчивого лесопользования в Швеции и России, двух странах с разными режимами лесопромышленности: в Швеции это максимально продуктивное, но высокзатратное лесопользование, а в России – лесоводство, основанное на естественном возобновлении с минимальными вложениями в лесоводство. Еще одно сравнительное исследование практик устойчивого лесопользования в Швеции и России, проведенное группой авторов (Angelstam et al., 2016), показало, что биофизические условия для роста деревьев в северо-западной России и Швеции различаются. При сравнении темпов роста молодых сосен обыкновенных и елей обыкновенных на различных широтах в обеих странах выявлено, что рост молодых сосен не различается в России и Швеции, а для ели обыкновенной темпы роста в России на 20 % ниже. Это связано с тем, что шведские насаждения были предварительно очищены от неперспективных деревьев, в то время как такая обработка была применена только к 5 % российских насаждений. Исследователи делают вывод о том, что интенсификация в направлении устойчивого лесного хозяйства требует знаний не только о лесной экологии, но и об инструментах управления и планирования лесопользования.

Анализ, проведенный группой авторов для Института мировых ресурсов (Сонген и др., 2005), показывает, что леса России имеют значительный экономический потенциал для дополнительного поглощения углерода в качестве меры по смягчению климатических изменений. Вплоть до 2085 г. ожидается, что леса России смогут дополнительно поглотить 3,4 гигатонны углерода в год, при этом стоимость таких мер не превысит 13 долл. за 1 т углерода. Это предоставляет России возможность осуществлять крупномасштабные программы, в частности по лесовосстановлению, облесению сельскохозяйственных земель и интенсификации лесопользования.

Помимо увеличения эффективности использования древесины в бизнесе, лесопользователи также могут получить выгоду от использования управления лесами как сложными системами для улучшения адаптивности к изменениям климата (Puettmann et al., 2009). В случае принятия решений по управлению лесами, ориентированных исключительно на объем древесины и продуктивность, существует риск, что они не будут соответствовать быстро меняющимся климатическим условиям (Park et al., 2014). Эксперты считают, что предприятия в лесной отрасли должны быть готовы к оперативному реагированию на изменения в физической среде, обладать актуальными знаниями об изменениях в климате и постоянно понимать реакцию видов и экосистем на глобальное потепление. Это, в свою очередь, позволит руководителям лесных хозяйств разрабатывать, по крайней мере, частично успешные стратегии ответа на вызовы, связанные с изменением климата.

В Российской Федерации интенсификация лесопользования и рубка ухода в молодняках регулируются законодательством и могут проводиться в различных регионах страны. Окончательное определение конкрет-

² Приказ Минприроды России от 30.07.2020 № 534. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_371361/

ных районов, где допускается проведение интенсификации лесопользования и рубки ухода в молодняках, осуществляется в соответствии с планами лесопользования и утверждается компетентными органами лесного хозяйства на местном и региональном уровнях.

Согласно Концепции интенсивного использования и воспроизводства лесов, разработанной ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (2015), экономическая составляющая лесного хозяйства и лесного сектора в России характеризуется низкой эффективностью. Согласно документу, общая площадь лесов с разными ограничениями использования составляет примерно 26 %, если учесть земли особо охраняемых природных территорий. Эта система является уникальной на мировом уровне в зоне бореальных лесов. Однако основной угрозой для этой системы является продолжение применения экстенсивной модели, которая требует вовлечения новых площадей нетронутых лесов.

Исследователи в России и в мире ссылаются на значительные проблемы развития нормативного регулирования и политики в области интенсификации лесопользования. Klapwijk с соавторами (2018) доказали: несмотря на то, что управляемые леса имеют потенциал для смягчения последствий изменения климата путем повышения поглощения углерода в результате улучшения лесного хозяйства, их полный потенциал трудно реализовать из-за сложностей в социально-экологической системе. Неопределенность в методах учета углерода, недостаток знаний о последствиях использования лесов приводят к нормативным разногласиям и сложностям в принятии решений. Исследователи дискурса об интенсивном лесопользовании в России (Dobrynin et al., 2021) указывают, что при осуществлении интенсивного лесопользования возникают проблемы, связанные со сложными правами владения и пользования лесами, государственной политикой, недостаточной правоприменительной практикой и отсутствием стимулов для компаний вложить средства в интенсивное лесопользование.

На основании материалов исследователей интенсификации лесопользования можно провести анализ сильных и слабых сторон, возможностей и угроз интенсификации лесопользования в формате *SWOT*-анализа для оценки текущего состояния и перспектив данного подхода.

Сильные стороны:

- Увеличение древесной продуктивности. Интенсивные методы лесопользования могут способствовать увеличению древесной продуктивности и выхода лесной продукции (Романюк и др., 2013).
- Экономическая выгода. Интенсификация лесопользования может привести к увеличению прибыльности и экономической эффективности лесной промышленности (Синькевич, 2013).
- Сокращение потребления земель. Интенсивное лесопользование может помочь сократить площадь, необходимую для удовлетворения потребностей в лесных ресурсах (Романюк, 2013; Добрынин, Сунгуров, 2013).
- Более эффективное использование ресурсов. Интенсификация лесопользования может способствовать более эффективному использованию ресурсов для производства как готовой продукции (древесина), так и энергии (порубочные остатки) (Корчагов, 2013).

Слабые стороны:

- Риски экологического ущерба. Неправильная реализация интенсификации лесопользования может привести к потере биоразнообразия, разрушению экосистем и негативным экологическим последствиям (Немчинова, 2013; Рай и др., 2013; Лукина и др., 2020).
- Влияние на социальные аспекты. Интенсификация лесопользования может снизить возможности для занятия традиционными промыслами, сбором лесных ресурсов и другими видами деятельности, которые являются важными для местных жителей (Тебенькова, Катаев, 2022).
- Ограниченные ресурсы. Интенсификация лесопользования может требовать дополнительных инвестиций в технологии, обучение и инфраструктуру, что может быть ограничено финансовыми и человеческими ресурсами (Добрынин, Сунгуров, 2013).

Возможности:

- Повышение устойчивости лесных экосистем. Интенсификация лесопользования может способствовать восстановлению и улучшению здоровья лесных экосистем, включая повышение их устойчивости к повреждениям из-за пожаров или вредителей за счет проведения дополнительных рубок ухода (Желдак, 2023).
- Инновации и технологический прогресс. Развитие новых технологий и инноваций может улучшить методы интенсификации лесопользования, увеличить эффективность и снизить негативное влияние на окружающую среду (Добрынин, Сунгуров, 2013).

– Развитие рынка углеродных кредитов. Интенсификация лесопользования может создавать возможности для продажи углеродных кредитов и участия в рынке углеродных компенсаций (Коротков, 2022).

Угрозы:

– Изменение климата. Климатические изменения могут повлиять на длительность сезона роста и привести к ухудшению условий для лесного роста, что может негативно сказаться на эффективности интенсификации лесопользования (Швиденко, Щепаченко, 2014).

– Недостаток актуальных данных инвентаризации лесов. Ограничивает возможность точного определения лесных ресурсов, затрудняя планирование эффективных стратегий интенсивного лесопользования, и повышает риск негативных экологических и экономических последствий из-за недостаточной осведомленности о текущем состоянии лесных экосистем (Корчагов, 2014).

– Изменение политических и правовых условий. Изменение законодательства и политических приоритетов может оказать влияние на реализацию проектов интенсификации лесопользования и их прибыльность. (Романюк, 2013).

Интенсивное лесопользование имеет свои преимущества, такие как увеличение древесной продукции, экономическая выгода и более эффективное использование ресурсов, что позволяет сократить использование земли для удовлетворения потребностей в лесных ресурсах. Однако существуют потенциальные риски для экосистем, социальные вызовы, ограниченность ресурсов и угрозы, такие как изменение климата и политические факторы, которые могут затруднить этот процесс. Необходимо также учесть сложности переходного периода от традиционного к интенсивному лесопользованию и социальные и экономические последствия, которые могут возникнуть при изменении методов заготовки леса со стороны компании, начиная от инвестиций в заготовительное оборудование и заканчивая адаптацией бизнес-процессов, включая нормы оплаты труда на лесосеке.

1.3. Проблемы оценки поглощения углерода российскими лесами

В Российской Федерации активно развивается научный дискурс о климатическом мониторинге, потоках парниковых газов и углеродном балансе лесов. Основные научные исследования проблематики ведутся Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук, Всероссийским научно-исследовательским институтом лесоводства и механизации лесного хозяйства (ФБУ «ВНИИЛМ»), Институтом леса Карельского научного центра РАН, Институтом космических исследований РАН, Институтом глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля, Центром ответственного природопользования Института географии РАН, Институтом проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Федеральным исследовательским центром «Казанский научный центр РАН», Институтом биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сибирским федеральным университетом, Институтом народнохозяйственного прогнозирования РАН и многими другими. Проблематикой климатического мониторинга и оценкой углеродного баланса лесных экосистем занимаются такие исследователи, как А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко, Н. В. Лукина (2020), С. А. Баргалева, О. Н. Липка, М. Д. Корзухин, Д. Г. Замолотчиков (2021), Н. Ю. Добролюбов, С. В. Крыленко, А. Ю. Богданович, С. М. Семенов (2021), Ю. А. Курбатова, А. Н. Филипчук, А. Н. Югов, Р. Ю. Миронов, С. А. Мошников, А. М. Крышень, Н. А. Галибина, Ю. Н. Гагарин, Т. Х. Максимов и др. Вопросам управления лесами и климатическим проектам посвящены некоторые труды таких исследователей, как В. Н. Коротков, Е. А. Шварц, А. В. Птичников, Н. К. Куричев, А. А. Романовская, А. П. Петров, Е. А. Ваганов, Б. Н. Порфирьев (2019), А. А. Широков, А. Ю. Колпаков, А. И. Пыжев (Ваганов и др., 2021) и др. Согласно резолюции по итогам научных дебатов «Оценка поглощения парниковых газов лесами: мифы и реальность» (РАН, 2021), абсолютное большинство исследователей подчеркивают, что леса играют важную роль в регулировании климата, поглощая значительное количество углекислого газа из атмосферы. При этом, учитывая обязательства Российской Федерации увеличить поглощение парниковых газов согласно Парижскому соглашению, существующий недостаток точной информации о состоянии и динамике лесов приводит к значительным различиям в оценке их способности к поглощению парниковых газов. Большинство исследователей говорят как о необходимости развития национальной системы мониторинга лесов для точной оценки углеродного баланса, так и о потребности в совершенствовании нормативно-правовой базы, нацеленной на выбор эффективных методов управления экосистемами в контексте обязательств Парижского соглашения, что обуславливает актуальность данного эмпирического исследования.

Многие российские исследователи занимаются анализом методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы. Выводы анализа Филипчук с соавторами (2016) указывают на занижение оценок прироста углерода лесами Российской Федерации в официальных данных Национального кадастра парниковых газов примерно на 350 млн т углерода в год. Это объясняется несоответствием используемых методов расчета, недостаточным учетом перестойных древостоев и исключением значительных площадей резервных лесов и кустарниковых зарослей из расчетов.

Усольцев с соавторами (2021) проанализировали последние оценки углеродных запасов лесов в стране, выявив их изменчивость в пределах от 100 до 600 млн т углерода в год. Особое внимание группа авторов уделила влиянию лесных пожаров, которые значительно снижают фактические запасы углерода в лесах; также были отмечены противоречивые тенденции в составе биомассы лесов из-за климатических изменений. Авторы приходят к заключению, что для более полного и точного понимания углеродного бюджета лесов необходимо проводить комплексные и верифицируемые исследования, хотя и подтверждают, что полная оценка представляет собой сложную задачу из-за ограниченности данных и возможностей подтверждения результатов.

По результатам обсуждений в Совете Федерации Федерального Собрания Российской Федерации на тему «Роль лесного хозяйства в достижении Россией углеродной нейтральности. Законодательное обеспечение: проблемы и пути решения», проведенных 28 февраля 2022 г.³, отмечается различная оценка углеродного баланса в лесах, т. е. их способности поглощать углерод. Эти оценки основаны на данных из разных источников, включая Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов и абсорбции парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом (614,5 Мт CO₂-экв. в год за 1990–2019 гг.), космического мониторинга ЦЭПЛ РАН, ИКИ РАН (750 тыс. тCO₂-экв. в год за период 2003–2019 гг.) и ведомственной оценки поглощения лесами CO₂ Рослесхоз, ВНИИЛМ (2 196 тыс. тCO₂-экв. в год). Эти разногласия в оценках объясняются, прежде всего, отсутствием актуальных данных о характеристиках лесов, недостаточной точностью измерений и отсутствием четко определенных целей учета поглощения парниковых газов российскими лесами в ходе государственной инвентаризации лесов.

Значимые исследователи затрагивают проблему поиска решений для совершенствования управления лесным хозяйством для реализации политики низкоуглеродного развития (Птичников и др., 2022; Ваганов, Порфирьев и др., 2021). Среди тезисов для целей данного исследования хотелось бы подчеркнуть выявленные авторами рекомендации по таким направлениям, как инвентаризация, основы знаний и оценки экосистемных услуг лесов, а также развитие эффективной стратегии развития лесного комплекса; необходимость фундаментальной научной основы для развития систем учета и управления лесным хозяйством в широком понимании.

1.4. Лесной углеродный баланс и интенсификация лесопользования

Опубликован ряд фундаментальных исследований, содержащих аналитические обзоры методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы (Филипчук и др., 2016; Курбатова, 2020; Федоров, 2017 и др.). В связи с большим уровнем неопределенности данных для учета углерода в лесах широко распространены сравнительные исследования методов учета баланса углерода (Уткин и др., 1997; Мамонов и др. 2022). Ученые в данных и других работах используют общепризнанные подходы к расчету древесной биомассы, включенной в углеродный цикл, зарубежные и российские модели и коэффициенты. Один из подходов с использованием конверсионных коэффициентов биомассы (*Biomass Expansion Factor – BEF*) используется в данном исследовании, как описано в пункте «Данные и методы».

Одним из наиболее масштабных исследований темы является монография «Российский углеродный баланс» (Федоров, 2017), в которой исследуются понятие и разнообразные аспекты углеродного баланса, а также строится прогноз углеродного баланса России в будущем, учитывая ожидаемые изменения в выбросах и накоплениях углерода. Среди выводов автор отмечает способность молодняка⁴ поглощать CO₂ почти

³ Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации. (2022). Рекомендации парламентских слушаний «Роль лесного хозяйства в достижении Россией углеродной нейтральности. Законодательное обеспечение: проблемы и пути решения». 28 февраля 2022 г., г. Москва.

⁴ Сомкнувшийся хотя бы на 50 % площади древостой с высотой основного элемента более 1,3 м, в котором начали проявляться процессы естественной дифференциации деревьев и борьбы за существование. Охватывает возраст по II класс включительно. Характеризуется быстрым ростом деревьев.

на порядок более интенсивно, чем спелые и перестойные леса (Федоров, 2017, с. 56). Таким образом, автор показывает расширенное воспроизводство углеродопоглощающей способности леса при рубках. Данное положение лежит в основе научной гипотезы данного исследования.

Широко используемый в исследованиях, в том числе отечественных, метод оценки углерода в лесах с использованием конверсионных коэффициентов биомассы используется также и в базовой методологии, использованной для оценки поглощения углерода древостоем в настоящем исследовании – методологии *VM10* для улучшения управления лесами⁵, разработанной *Verra*, одной из ведущих некоммерческих организаций по управлению стандартами и программами сертификации для оценки и проверки проектов по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению уровня углерода в атмосфере. Таким образом, выбор методологии *VM10* является релевантным для данного исследования.

Данные и методы. Данное исследование преследует цель проанализировать различные типы выбросов углерода и его накопление в рамках деятельности предприятий Группы компаний (далее – ГК)⁶, в том числе оценить изменения в накоплениях углерода в лесах в результате лесозаготовок и прироста лесов. Этот анализ проводится в отношении шести подразделений группы компаний, но ограничивается географическими границами Республики Карелия на основании данных 2016–2020 гг. Учтены подразделения, действующие по производственно-сбытовой цепочке производства лесоматериалов в регионе.

Анализ направлен на оценку характеристики выбросов/накоплений парниковых газов в соответствии со сферой охвата 1 и областью деятельности 2 Протокола о парниковых газах Института мировых ресурсов. Это означает, что в анализе рассматриваются прямые выбросы от собственных операций компании (например, выбросы топлива из машин), а также косвенные выбросы, связанные с приобретением тепла и энергии. Косвенные выбросы, связанные, например, с выбросами, образующимися в результате деятельности вверх и вниз по цепочке поставок, на данном этапе рассматриваются лишь частично и ограничиваются выбросами в результате купли-продажи древесины (т. е. выбросами вверх по цепочке поставок) и выбросами из закупленного пула товаров из древесины (выбросы на последующих этапах производственного цикла). Анализ основан главным образом на оперативных данных ГК.

Кадастровые данные, а также данные о приросте лесов были предоставлены научно-исследовательским институтом, специализирующимся на вопросах лесного хозяйства, который провел 1 300 наземных замеров на лесных участках, арендованных данной группой компаний. Для оценки сценариев роста лесозаготовительных операций в анализе предполагается, что группа компаний постепенно преобразует большинство лесохозяйственных операций в режим интенсивного лесопользования. В настоящем анализе не учитывались выбросы углерода от накопления или утилизации древесных отходов и потенциально связанные с ними выбросы метана.

В целом анализ проводится в соответствии с Руководящими принципами Международной группы экспертов по климатическим изменениям (далее – МГЭИК) по эффективной практике для национальных кадастров парниковых газов⁷ (Eggleston et al., 2006), а также с учетом соответствующих уточнений 2019 г. (Buendia et al., 2019). Для оценки выбросов и абсорбции в результате лесохозяйственных операций была использована методология *VM10* по совершенствованию управления лесным хозяйством: переход от заготовленного леса к охраняемым лесам (*VM10 Methodology*, 2016). Эта методология не только позволяет оценить выбросы и абсорбцию углерода в лесах, но и в равной степени позволяет оценить выбросы заготавливаемых лесоматериалов, товаров из заготовленной древесины и выбросы энергии и топлива в результате заготовки, транспортировки и переработки древесины. Это позволяет провести всесторонний анализ выбросов в области управления группой компаний. В Российской Федерации на момент написания данной статьи еще не было рекомендованной методологии в области улучшения управления лесным хозяйством, однако в Реестре углеродных единиц Российской Федерации в настоящее время проводится обсуждение

⁵ VM0010 Methodology for Improved Forest Management: Conversion from Logged to Protected Forest, v1.3. <https://verra.org/methodologies/vm0010-methodology-for-improved-forest-management-conversion-from-logged-to-protected-forest-v1-3/>, с. 20

⁶ Название компании, участвующей в исследовании, не разглашается в целях поддержания независимости и объективности анализа и избежания возможных внешних влияний на результаты исследования.

⁷ Методические рекомендации Международной группы экспертов по климатическим изменениям по эффективной практике для национальных кадастров парниковых газов.

методики реализации климатического проекта № 0012 «Улучшение управления лесным хозяйством, в том числе снижение воздействия лесозаготовок», которая по завершении процедуры общественного обсуждения позволит верифицировать и валидировать климатический проект, направленный на совершенствование управления эксплуатационными лесами.

Однако следует отметить, что целью данного исследования не является определение рекомендаций для методологий климатических проектов для Российской Федерации. Фокус исследования направлен на практическую оценку возможности расчета результатов конкретного климатического проекта в контексте улучшения управления лесным хозяйством на базе международной методологии *VCS 2016 VM010*, обладающей как преимуществами, так и ограничениями. Очевидно, что для гармоничного развития методологий климатических проектов в Российской Федерации необходимо не только учитывать международный опыт, но и выявленные или потенциальные недостатки этого опыта. Это открывает дополнительные возможности для последующих исследований, в частности, к периметру, охватываемому данным исследованием: выбранный метод мониторинга позволит подтвердить, опровергнуть или скорректировать модельный расчет функции поглощения углерода в рамках интенсификации лесопользования с течением времени, принятый в данном исследовании.

2. Эмпирический анализ климатического проекта в Карелии: воздействие интенсификации лесопользования на углеродный баланс

2.1. Углеродный баланс лесов

В регионе группа компаний арендует примерно 2,25 млн га леса, и их управление приводит к выбросам, в то время как их регенерация поглощает углерод. Поток углерода в лесах, возможно, является одной из самых сложных моделей, представленных в Руководстве МГЭИК по эффективной практике землепользования (Penman et al., 2003). Общая модель потоков углерода подробно описана в методологии *VM0010 VCS*.

Воздействие управления лесным хозяйством на выбросы является сложным и не носит строго линейного характера с течением времени. Вырубка леса площадью в 1 га ведет к сокращению запасов надземной биомассы и подземной биомассы, однако эти сокращения не рассматриваются в качестве прямых выбросов. Порубочные остатки со временем разлагаются и выделяют часть накопившегося углерода. Заготовленная древесина обрабатывается, из нее часть теряется (например, опилки) и используется для удовлетворения энергетических потребностей, а другая часть преобразуется в продукты из древесного сырья (товары из заготовленной древесины), такие как пиломатериалы, бумага, фанера и т. д. Лесозаготовительные операции требуют наличия оборудования (харвестера, форвардера, погрузчика, грузовика), работающего на дизельном топливе или бензине. Лесопильные заводы, как правило, работают на электричестве и косвенно способствуют выбросам при производстве электроэнергии.

В то же время леса после лесозаготовок восстанавливаются, накапливая значительные объемы углерода. Кроме того, все лесонасаждения, не охваченные лесозаготовками, также поглощают углерод, объем которого зависит от их возраста, состояния почв, видового состава, наличия водных ресурсов, природных повреждений и такого климатического явления, как засуха.

2.2. Определение базового и проектного сценария в рамках исследования

С целью выполнения цели и задач исследования был проведен анализ набора данных базового сценария (гипотетический исходный вариант развития, лучше всего отражающий условия, которые, скорее всего, возникнут в отсутствие проекта по выбросам парниковых газов) и проектного сценария (предполагаемый уровень сокращения выбросов ПГ или увеличения поглощения ПГ, отличный от базового сценария, который будет достигнут в результате проектной деятельности). Для целей данного исследования был сделан ряд целесообразных допущений для данного этапа согласно табл. 1. Однако при подготовке проектной документации на климатический проект целесообразно будет дополнительно определить необходимость более точной количественной оценки в наборах данных, где были сделаны допущения.

Таблица 1

Наборы данных для оценки базового и проектного сценариев в рамках оценки климатического проекта по улучшению управления лесным хозяйством за счет снижения воздействия лесозаготовок в результате интенсификации лесопользования (согласно методологии VCS 2016 VM0010)

Table 1. Data sets for assessing the basic and project scenarios within the assessment of a climate project to improve forest management by reducing logging impact as a result of forest management intensification (by VCS 2016 VM0010 methodology)

Показатель / Indicator	Базовый сценарий / Basic scenario	Проектный сценарий / Project scenario
Тип данных/описание сценария / Data type/scenario description	Традиционное лесопользование на территории 2,25 млн га в Республике Карелия с проведением одной рубки ухода в возрасте деревьев 51–60 лет / Traditional forest management on the area of 2.25 million ha in the Republic of Karelia with one improvement cutting at the trees age of 51–60 years	Интенсивное лесопользование на территории 2,25 млн га в Республике Карелия с проведением четырех рубок ухода в возрасте деревьев 10, 17, 37, 57 лет / Intensive forest management on the area of 2.25 million ha in the Republic of Karelia with four improvement cuttings at the trees age of 10, 17, 37, 57 years
Выбросы ПГ / Greenhouse gas exhausts		
Использование транспортных средств / Use of vehicles	Выбросы топлива автопарка за 2020 г.: харвестеры и форвардеры (дизельное топливо), грузовой автотранспорт (дизельное топливо и бензин) / Fuel exhausts of the car park in 2020: harvesters and forwarders (diesel), cargo vehicles (diesel and petrol)	
Производственные выбросы в периметре ГК / Industrial exhausts within the area of the group of companies	Выбросы от производства бумаги, упаковки, пиломатериалов за период 2016–2020 гг.: – потребление электроэнергии, МВт·ч/год; – потребление мазута, т мазута/год; – расход дизельного топлива, кл/год ⁸ . Отходы деревообрабатывающей промышленности, м³/год / Exhausts from production of paper, packing, timber in 2016–2020: – electric energy consumption, MWatt·h/year; – fuel oil consumption, tons/year; – diesel fuel consumption, kl/year; Wastes of timber industry, m³/year	
Пожары / Fires	Выбросы от пожаров на основании данных о площади, горимой в год, и интенсивности пожара/ коммерческий объем, утраченный на га, за период 2016–2020 гг. / Exhausts from fires, by the data of the area burnt a year and fire intensity/commercial volume lost per ha, in 2016–2020	
Немедленные и отсроченные выбросы в результате лесозаготовок и закупки древесины / Immediate and delayed exhausts from logging and wood purchases	Выбросы от окисления древесных продуктов в результате собственной заготовки и импорта древесины для производства продукции, м³ / Exhausts from oxygenation of wood products as a result of logging and wood imports for production, m³	
Порубочные остатки / Logging residues	Годовые выбросы углерода из сухостойной древесины / Annual carbon exhausts from dead-wood	
Произведенные и покупаемые продукты на древесной основе / Produced and purchased wood products	Немедленные и отсроченные выбросы древесных продуктов с различным сроком использования, в год / Immediate and delayed exhausts of wood products with various terms of use, a year	
Накопление ПГ / Greenhouse gas accumulation		
Прирост леса / Forest growth	Сценарий «Т» – накопление ПГ при традиционном лесопользовании / T-scenario – greenhouse gas accumulation under traditional forest management	Сценарий «И» – накопление ПГ при интенсивном лесопользовании / I-scenario – greenhouse gas accumulation under intensive forest management

⁸ Килолитр – единица объема и емкости, равная 1000 литров

2.3. Рассматриваемые углеродные пулы в рамках исследования

Под углеродными пулами понимается компонент или компоненты климатической системы, где накапливаются парниковые газы или прекурсоры парниковых газов (вещества или составы, которые не являются парниковыми газами сами по себе, но могут приводить к образованию или увеличению концентрации парниковых газов в атмосфере).

Включены в исследование:

Надземная биомасса⁹ – является основным углеродным пулом, затрагиваемым лесопользованием, и поэтому должна быть включена в исследование.

Подземная биомасса¹⁰ – в значительной степени затрагивается лесопользованием и поэтому должна быть включена в эту категорию.

Порубочные остатки¹¹ – лесозаготовительная деятельность в значительной степени зависит от управления лесным хозяйством.

Товары из заготовленной древесины¹² – товары из заготовленной древесины в значительной степени зависят от лесопользования.

Исключены из исследования такие пулы углерода, как естественный запас мертвой древесины¹³ (деятельность в области лесопользования не влияет на естественный запас мертвой древесины), отходы и почвенный органический углерод¹⁴ (сплошная заготовка обычно приводит к выбросам углерода от полигонов и органического углерода в почве, однако конкретные данные по региону отсутствуют, на следующих этапах исследования эти выбросы могут быть количественно определены).

2.4. Выбросы от транспортных средств

Рассматриваемая деятельность, по данным группы компаний, в 2020 г. привела к потреблению в общей сложности 8,73 млн литров бензина и дизельного топлива для собственного автопарка. Доля закупленной древесины в произведенной древесине оценивается в 111 % (в среднем за период 2016–2020 гг.). С помощью данного коэффициента были также оценены выбросы от транспортных средств для закупаемой древесины (табл. 2.).

2.5. Выбросы от производства

Выбросы ГК для производства бумаги, упаковки, пиломатериалов составляют 587 885 тCO₂/год (в среднем за период 2016–2020 гг.). Так как для производства упаковки ГК закупает бумагу у других производителей, для учета выбросов закупленной бумаги мы определяем выбросы одной тонны бумаги, произведенной ГК, и умножаем соответствующий коэффициент выбросов на закупленную бумагу. Это позволяет оценить выбросы бумаги, проданной ГК. Соответствующие выбросы составляют 620 547 тCO₂ в год (в среднем за период 2016–2020 гг.) (табл. 3).

⁹ Общая масса живых растительных материалов, находящихся над уровнем земли в экосистеме, включает в себя стволы, ветви, листья и другие надземные части растений, такие как цветы и плоды.

¹⁰ Общая масса живых растительных материалов, находящихся под уровнем земли в экосистеме, включает в себя корни, корневища, клубни, гнездовища грибов и другие подземные части растений.

¹¹ Остатки древесины, включающие сучья, ветки, обрезки и другие части древесины, после выполнения лесозаготовительных работ.

¹² Материалы, полученные из древесины, собранной в результате лесозаготовительных операций или других процессов, связанных с использованием древесных ресурсов.

¹³ Накопленное количество и распределение мертвых деревьев и древесных остатков в экосистеме, включает в себя опавшие деревья, сухостой (стоящие мертвые деревья), ветки и разлагающиеся бревна в лесах.

¹⁴ Органический углерод в почве происходит от разложения растительных и животных остатков, а также от активности микроорганизмов.

Таблица 2

Оценка выбросов в результате потребления топлива в 2020 г. (собственная оценка ГК)
Table 2. Estimation of exhausts as a result of fuel consumption in 2020 (estimation by the group of companies)

Тип транспорта / Type of transport	Потребление топлива / Fuel consumption		Выбросы ПГ / Greenhouse gas exhausts	
	Ед. измерения / Measure unit	Объем / Volume	Ед. измерения / Measure unit	Объем / Volume
Харвестеры / Harvesters	килолитров дизеля/год / kl of diesel a year	1 813	тCO ₂ -э/год / tons of CO ₂ equivalent per year	5 350
Форвардеры / Forwarders	килолитров дизеля/год / kl of diesel a year	1 609	тCO ₂ -э/год / tons of CO ₂ equivalent per year	4 749
Грузовой автотранспорт (дизель) / Cargo transport (diesel)	килолитров дизеля/год / kl of diesel a year	5 364	тCO ₂ -э/год / tons of CO ₂ equivalent per year	15 835
Грузовой автотранспорт (бензин) / Cargo transport (petrol)	килолитров дизеля год/ kl of diesel a year	89	тCO ₂ -э/год / tons of CO ₂ equivalent per year	227
Выбросы в результате потребления топлива – собственное производство (Охват 1) / Exhausts as a result of fuel consumption – own production (coverage 1)			тCO ₂ -э/год / tons of CO ₂ equivalent per year	26 162
Выбросы в результате потребления топлива – закупленная древесина (Охват 3) / Exhausts as a result of fuel consumption – purchased wood (coverage 3)			тCO ₂ -э/год / tons of CO ₂ equivalent per year	28 955
Общие выбросы в результате потребления топлива / Total exhausts as a result of fuel consumption			тCO ₂ -э/год / tons of CO ₂ equivalent per year	55 116

Таблица 3

Расчет выбросов производства: бумага, пиломатериалы, упаковка (собственная оценка ГК)
Table 3. Calculation of production exhausts: paper, timber, packing (estimation by the group of companies)

Параметр / Parameter	Ед. изм. / Measure unit	Год / Year				
		2016	2017	2018	2019	2020
Потребление электроэнергии / Consumption of electric energy	МВт·ч/год / MWatt·h per year	497 310	592 859	616 443	638 105	654 976
Коэффициент выбросов / Exhausts coefficient	тCO ₂ /МВт·ч / tons of CO ₂ / MWatt·h	0,417	0,408	0,426	0,456	0,467
Выбросы от потребления энергии / Exhausts from energy consumption	тCO ₂ /год / tons of CO ₂ per year	207 378	241 590	262 296	290 657	306 038
Потребление мазута / Consumption of fuel oil	т/год	95 651	120 430	116 256	57 493	86 380
Выбросы от потребления мазута / Exhausts from fuel oil	тCO ₂ /год / tons of CO ₂ per year	299 097	376 580	363 528	179 778	270 107
Потребление дизельного топлива / Consumption of diesel fuel	кл/год / kl/year	4 070	4 913	5 204	6 185	9 227
Выбросы от дизельного топлива / Exhausts from diesel fuel	тCO ₂ /год / tons of CO ₂ per year	12 015	14 504	15 361	18 257	27 237
Итого, собственное производство / Total, own production	тCO ₂ /год / tons of CO ₂ per year	518 490	632 674	641 185	488 692	603 382
Итого, закупленная бумага / Total, purchased paper	тCO ₂ /год / tons of CO ₂ per year	59 018	56 047	47 130	25 967	30 151
Всего / Total	тCO ₂ /год / tons of CO ₂ per year	577 508	688 721	688 316	514 659	633 533
Выбросы в среднем в периоде 2016–2020 гг. / Exhausts on average in 2016–2020	тCO ₂ /год / tons of CO ₂ per year			620 547		

2.6. Оценка выбросов от пожаров в периметре исследования

Лесные пожары могут приводить к значительному нарушению нормального состояния лесов и последующей утрате накоплений углерода в лесах. Лесные пожары могут происходить с различной интенсивностью (степенью выраженности), начиная от низовых пожаров¹⁵ (обычно имеют низкую интенсивность и не вызывают значительного повреждения древесных ресурсов и корневой системы растений) и заканчивая верховыми пожарами¹⁶ (характеризуются высокой интенсивностью, быстрым распространением и высокими температурами горения).

Для оценки выбросов в результате лесных пожаров базовая методология VCS предусматривает (в соответствии с руководящими указаниями IPCC по эффективной практике) два входных параметра: площадь, горимая в год, а также интенсивность пожара/коммерческий объем, утраченный на га. Средняя величина потерь биомассы на га горения умножается на коэффициент горения. В гл. 2 Руководства МГЭИК по эффективной практике землепользования (Penman et al., 2003) предлагается стандартный коэффициент горения для бореальных лесов в размере 0,40. Применение коэффициента сгорания позволяет оценить выбросы CO₂ (сжигание биомассы) и CH₄ (сжигание биомассы неполным способом/при недостатке кислорода).

Был проанализирован набор данных о районах и объемах сжигания биомассы. За период с 2016 по 2020 г. средняя площадь пройденных огнем участков составляет 277,57 га/год, средние потери коммерческого объема 4 177,52 м³/год. Использование вышеприведенных данных позволяет оценить средний уровень выбросов в результате лесных пожаров. Годовой объем выбросов в результате пожаров равен приблизительно 2 000 тCO₂-э/год за период 2016–2020 гг. Выбросы CO₂ от лесных пожаров составляют 0,1 % от общего объема выбросов в период 2016–2020 гг. Поэтому выбросы CH₄ и N₂O считаются незначительными и, таким образом, исключаются.

2.7. Немедленные и отсроченные выбросы в результате лесозаготовок и закупки древесины

С точки зрения выбросов, происходит расчет немедленных и отсроченных выбросов от лесопользования. Немедленные выбросы происходят при заготовке древесины, включая древесину как заготовленную группой компаний самостоятельно, так и полученную от других компаний по цепи поставок. Эти выбросы включают немедленные выбросы, связанные с использованием дровяного топлива, выбросы от древесных отходов и короткоживущих фракций в древесных изделиях. «Отсроченные» выбросы формируются от разложения древесных остатков и окисления древесных продуктов с длительным способом использования.

В период 2016–2020 гг. группа компаний в среднем заготовила около 2,25 млн м³ древесины в год; 0,5 млн м³ древесины было получено от других компаний.

Древесина, заготавливаемая собственнo группой компаний и закупленная из других источников, перерабатывается в конечные продукты: пиломатериалы, щепу, бумагу, а также значительное количество топливной древесины и древесных отходов (опилок) используется для собственных операций. В период 2016–2020 гг. в среднем 6,4 % древесины перерабатывалось в пиломатериалы, 81 % – в бумагу и 12,6 % – в топливную древесину. На основе данных Winjum и др. (1998) об отходах древесного производства и коэффициентах окисления для различных категорий изделий из древесины, а также на основе убывающей линейной функции на 20 лет для окисления изделий из древесины в течение 100 лет (используется в методологии VCS VM0010) среднегодовые выбросы в результате лесозаготовок и импорта древесины в период 2016–2020 гг. оцениваются примерно в 1,42 млн тCO₂.

¹⁵ Тип пожаров, которые распространяются по поверхности растительного покрова. В таких пожарах горят сухие травы, мелкие кустарники и нижние ветви деревьев, не задевая корневую систему и глубокие слои почвы.

¹⁶ Тип пожаров, которые распространяются по верхним частям деревьев, затрагивая их кроны. В таких пожарах огонь проникает в верхние слои растительного покрова, где горят сухие ветви, хвоя и листья, создавая огненные факелы и высокие пламенные колонны.

2.8. Выбросы от порубочных остатков

В исследовании были учтены выбросы от заготовки древесины, связанные с порубочными остатками и подземной биомассой всех заготавливаемых деревьев. Как и в случае отсроченных выбросов при заготовке древесины (окисление древесных продуктов), эти выбросы происходят не сразу, а также с задержкой, поскольку лесозаготовительные отходы со временем распадаются и выбрасывают CO_2 в атмосферу. Выбросы, образующиеся в результате порубочных остатков, рассчитываются на основе так называемых коэффициентов расширения биомассы, которые позволяют оценить общую биомассу деревьев (включая пни и биомассу кроны) на основе коммерческого объема. Подземная биомасса оценивается как функция надземной биомассы с использованием так называемого соотношения корневых побегов. В то время как полный распад лесов может занять несколько десятилетий и обычно следовать экспоненциальной функции, мы используем 10-летнюю линейную функцию распада (используемую в методологии VCS VM0010) для расчета годовых выбросов в результате порубочных остатков кроны и веток.

Среднегодовые выбросы, связанные с порубочными остатками и подземной биомассой, за период 2016–2020 гг. оцениваются примерно в 1,15 млн tCO_2 .

2.9. Выбросы от пула произведенных и закупаемых продуктов на древесной основе

В разделе “Calculation of baseline carbon sequestered in wood products” («Расчет базового удержания углерода в древесных продуктах») методологии VM10 для улучшения управления лесами (VCS, 2016, р. 24) рассматривается расчет изменения углеродного запаса, возникающего из-за преобразования и вывода древесины в древесные продукты. Выбранная методология предполагает, что заготовленная древесина перерабатывается, а соответствующая доля преобразуется в так называемые товары из заготовленной древесины. Предполагается, что в долгосрочной перспективе товары из заготовленной древесины будут сохранять углерод и постепенно разлагаться и выделять аккумулированный углерод в течение 20 лет.

Вклад в выбросы от товаров из заготовленной древесины оценивается в 0,50 tCO_2 в год (в среднем за 2016–2020 гг.). Из этого общего объема часть преобразуется в пиломатериалы (36,620 т углерода в год, в среднем за 2016–2020 гг.), часть используется в качестве топливной древесины (60,491 т углерода в год, в среднем за 2016–2020 гг.), но большая часть используется для производства бумаги (0,46 млн т углерода в год, в среднем за 2016–2020 гг.).

Из этих объемов производства следует, что существует недолговечная фракция, которая выбрасывается либо в процессе производства, либо в течение того же года. Этот подход позволяет оценить краткосрочную фракцию пула товаров из заготовленной древесины, которая выбрасывается в год заготовки. Доли короткоживущих фракций для оценки древесных отходов по типу продукции из древесины даны в соответствии с данными Winjum с соавторами (1998): пиломатериалы – 31 %, древесные панели – 25 %, промышленная круглая древесина – 37 %, бумага – 43 % (стандартные значения, предлагаемые МГЭИК).

Применение вышеуказанных фракций к различным древесным товарам позволяет оценивать непосредственные выбросы различных древесных продуктов в год. В исследование включены как немедленные, так и отсроченные выбросы (убывающая 20-летняя функция). Средний уровень накопления углерода в выпущенных из употребления древесных товарах в период 2016–2020 гг. оценивается в 0,66 $\text{tCO}_2/\text{год}$.

2.10. Различие базового и проектного сценария – секвестрация углерода в процессе прироста лесов

Поглощение парниковых газов происходит при регенерации и приросте лесов в периметре аренды группы компаний.

По мере роста леса поглощают углерод посредством фотосинтеза. Как правило, молодняк¹⁷ на месте недавней заготовки поглощает больше углерода, чем старые лесонасаждения, поскольку доступность света

¹⁷ Молодые деревья, которые еще не достигли зрелого возраста (возраста сплошной рубки).

выше, а деревья растут быстрее в первые десятилетия. Были проанализированы данные таксации¹⁸ лесов существующих лесных массивов, содержащие информацию о возрасте, бонитете, видовом составе деревьев, экологическом типе лесов, запасах древостоя, и другие стандартные данные таксации лесов в электронном формате. Эта информация позволяет оценить накопление углерода в лесах над молодыми и старыми лесами. Общий объем накопления углерода в лесах составляет 96,39 млн т.

Как кратко указано в разделе «Данные и методы», функции прироста лесов были предоставлены экспертами на основании данных таксации лесов. Были выбраны две функции прироста лесов, которые отражают различные сценарии роста лесов: к традиционному лесопользованию и к интенсивному лесопользованию. Функции роста определяются на основе подробной информации о составе пород деревьев (например, проценте сосны, ели, березы, осины в лесном участке) по каждому возрастному классу в арендной базе группы компаний. Таким образом, каждая функция роста основана на большом количестве данных (2 920 точек данных), которые были собраны с различных лесных участков. Каждая точка данных представляет собой средний прирост деревьев на гектар на девяти лесных участках общей площадью 36 га. Эти участки находятся в определенном типе леса с определенными характеристиками и возрастной категорией (подекадно, например, 1–10 лет и до 100–240 лет в зависимости от типа деревьев). При расчете среднего прироста учитывается различный рост разных видов деревьев (сосны, ели, березы и осины) на этих девяти участках. В табл. 4 приводятся суммарные данные на основании таксации лесов для всех участков, рассматриваемых в исследовании. Сопоставляются традиционная (Сценарий «Т») и интенсивная (Сценарий «И») функции прироста лесов в области лесопользования.

Таблица 4

Сравнение функции прироста лесов при традиционной и интенсивной функциях прироста лесов (данные ГК)

Table 4. Comparing the function of forest growth rate under traditional and intensive growth function (data by the group of companies)

Функция прироста / Growth function	Запас древесины по породам, млн м ³ / Yield by species, mln m ³					Прирост по породам деревьев, тыс. м ³ /год / Growth by species, thousand m ³ /year				
	Итого / Total	Сосна / Pine tree	Ель / Fir tree	Береза / Birch	Осина / Aspen	Итого / Total	Сосна / Pine tree	Ель / Fir tree	Береза / Birch	Осина / Aspen
«Т» / T	254,5	143,5	52,2	54,2	4,6	4 469	2 487	641	1 240	100
«И» / I	254,5	143,5	52,2	54,2	4,6	6 734	3 534	1 117	1 933	149

Примечание: детали проведения таксации не раскрываются для обеспечения коммерческой конфиденциальности.

Note: details of taxation are not disclosed to provide commercial confidentiality.

На основании построчных данных о приросте лесов можно вычислить массу накапливаемого углерода на гектар в год для каждой возрастной декады согласно Руководящим принципам МГЭИК 2006 г. (Eggleston et al., 2006) для национальных кадастров парниковых газов. Процесс вычислений включает следующие шаги.

Исходными данными для просчета являются запасы древесины в м³ и прирост деревьев в м³/год для традиционного и интенсивного лесопользования по четырем породам: сосна, ель, береза, осина. Исходные данные представлены для каждой возрастной декады леса (от 1 до 10 лет, от 11 до 20 лет, от 21 до 30 лет и до максимального возраста каждого типа леса, каждого бонитета и каждой породы). Для каждой возрастной декады известны запасы, прирост и площадь произрастания каждой из четырех пород леса.

Сначала происходит расчет накопления углерода в тоннах на гектар в год для каждой возрастной декады леса по формуле (1). Для этого для каждой возрастной декады (итого 31 возрастная декада) производятся следующие вычисления.

¹⁸ Кадастровые данные, а также данные о приросте древостоя были представлены независимыми экспертами по лесному хозяйству с использованием модели, разработанной научно-исследовательским институтом, который по заказу компании провел 1 300 наземных замеров в аренде.

Средняя масса накопления углерода для всех пород деревьев в зависимости от декады возраста и сценария прироста древостоя:

$$C_{p,d,s} = (P_{p,d,s} \times BEF_p \times K_p) + (P_{p,d,s} \times BEF_p \times 0,239 \times K_p);$$

$$C_{\text{средн},d,s} = \frac{C_{p,d,s}}{S_d}, \quad (1)$$

где $C_{p,d,s}$ – суммарная масса углерода для породы p в декаде d и сценарии s (традиционное или интенсивное лесопользование), тС/га/год; $P_{p,d,s}$ – прирост для породы p в декаде d и сценарии s , м³/год; BEF_p – фактор расширения биомассы для породы p , в тоннах сухого вещества (*tonnes of dry matter, t.d.m.*) в год; K_p – коэффициент углеродной доли для породы p ; S_d – площадь в гектарах для декады d , га; $C_{\text{средн},d,s}$ – средняя масса накопления углерода для всех пород¹⁹ в декаде d и сценария s , т С/га/год.

Далее необходимо отразить в массе накопления углерода проведение рубок ухода. Отличием сценария «Т» от сценария «И» являются частота и объем рубок ухода. Традиционное лесопользование в базовом сценарии для целей данного исследования предполагает проведение одной коммерческой рубки ухода в возрасте деревьев 51–60 лет (в объеме 20 %).

Масса накопления углерода после проведения рубок в традиционном лесопользовании:

$$C_{\text{ух},6,t} = \frac{C_{\text{средн},6,t} \times (1 - 0,2)}{10},$$

где $C_{\text{ух},6,t}$ – масса накопления углерода после проведения рубок ухода в 6-й декаде, сценария t , тС/га/год; $C_{\text{средн},6,t}$ – средняя масса накопления углерода для 6-й декады (возраст 51–60 лет), сценария t , тС/га/год; 0,2 – доля коммерческой рубки ухода; 10 – количество лет в 6-й декаде (10 лет).

Интенсивное лесопользование в проектном сценарии предусматривает проведение четырех рубок ухода: прочистка в возрасте деревьев 10 лет в объеме 35 % и три рубки прореживания в возрасте 17, 37, 57 лет – в объеме 35, 23 и 23 % соответственно.

Масса накопления углерода после проведения рубок при интенсивном лесопользовании:

$$C_{\text{ух},d,i} = \frac{C_{\text{средн},d,i} + \sum_{j=1}^{d-1} C_{\text{ух},j,i} \times (1 - V_j)}{10},$$

где $C_{\text{ух},d,i}$ – масса накопленного углерода для временной декады d (например, 1–10 лет) в сценарии i (интенсивное лесопользование), тС/га/год; $C_{\text{средн},d,i}$ – средняя масса накопления углерода для данной временной декады d , тС/га/год; j – номер декады, на которой проводились рубки ухода до той, на которой рассчитываем массу накопленного углерода; $C_{\text{ух},j,i}$ – масса накопленного углерода для временной декады j , учтенная после рубки ухода; V_j – коэффициент, представляющий долю проведенных рубок ухода для временной декады j .

Таким образом, массу накопленного углерода (тС/га/год) с учетом рубок ухода можно представить в виде формул (2–5):

Для традиционного сценария:

– Для всех декад, кроме шестой:

$$C_{\text{фин_средн},d,t} = C_{\text{средн},d,t}. \quad (2)$$

– Для шестой декады:

$$C_{\text{фин_средн},d,t} = C_{\text{средн},d,t} - C_{\text{ух},6,t}. \quad (3)$$

¹⁹ Использовались факторы расширения биомассы (ФАО 2005, FRA Russian Federation), а также коэффициент углеродной доли (т углерода/т сухого дерева) для хвойных и широколиственных пород (Mokany et al., 2006).

Для интенсивного сценария:

– Для первой, второй, третьей, четвертой и шестой декад:

$$C_{\text{фин_средн},d,i} = C_{\text{средн},d,i}. \quad (4)$$

– Для всех остальных декад:

$$C_{\text{фин_средн},d,i} = C_{\text{средн},d,i} - C_{\text{ух},d,i}, \quad (5)$$

где d принимает значения 1, 2, 3, 4 и 6.

Для того чтобы применить полученные результаты для расчета восстановления запасов углерода после заготовки древесины в конкретной лесной аренде, необходимо отобразить динамику восстановления запасов углерода в лесной экосистеме после заготовки, предоставляя информацию о количестве углерода, удерживаемого в лесу по мере его восстановления со временем. Расчеты можно отобразить формулами.

Общее накопление углерода в каждый конкретный год проведения лесозаготовки для базового сценария (традиционное лесопользование) и проектного сценария (интенсивное лесопользование):

$$C_{\text{total}(s,y)} = (C_{\text{model}(s,y)} + C_{\text{rgr}(s,y)} + C_{\text{seq}(s,y)}) \times 44/12,$$

где $C_{\text{total}(s,y)}$ – общее накопление углерода в год y для сценария s (традиционный или интенсивный) в $\text{тСО}_2\text{-э}$; $C_{\text{model}(s,y)}$ – масса накопленного углерода на территории лесозаготовки для года y и предыдущих лет для сценария s , тС/год ; $C_{\text{rgr}(s,y)}$ – масса накопленного углерода от прироста леса на площади, не охваченной лесозаготовкой, для сценария s , тС/год ; $C_{\text{seq}(s,y)}$ – масса уже накопленного углерода для площади, не охваченной лесозаготовкой, для сценария s , тС/год ; $44/12$ – коэффициент пересчета углерода в углекислый газ (молекулярные веса соответственно: углерод – 12 г/моль, $\text{O}_2 = 2 \times 16 = 32$ г/моль, $\text{CO}_2 = 44$ г/моль).

Накопление углерода на территории лесозаготовки для каждого года и предыдущих лет начиная с первого года заготовки, с использованием соответствующих значений массы накопления углерода для каждой декады лесопользования в сценарии (традиционный или интенсивный), можно представить в виде формулы:

$$C_{\text{model}(s,y)} = \sum S_y \times C_{\text{фин_средн},d,s},$$

где S_y – площадь средней заготовки на год y , га; $C_{\text{фин_средн},d,s}$ – масса накопления углерода в тоннах углерода в год на гектар для декады d и сценария, тС/га/год .

Массу накопления углерода от прироста леса на площади, не охваченной лесозаготовкой, можно представить в виде формулы:

$$C_{\text{rgr}(s,y)} = (S_{\text{total}} - S_{\text{harvested}(y)}) \times C_{\text{growth}}_{(d6-d31)},$$

где $C_{\text{rgr}(s,y)}$ – масса накопления углерода от прироста леса для сценария s и года y , тС/год ; S_{total} – общая площадь лесопользования, га; $S_{\text{harvested}(y)}$ – площадь, охваченная лесозаготовкой в год y ; $C_{\text{growth}}_{(d50-d310)}$ – коэффициент

среднего прироста массы углерода в год для деревьев возрастной декады d (где d изменяется от 6 до 31).

Для представления вычислений массы углерода, который уже накопился на территории, не охваченной лесозаготовкой, можно использовать формулу:

$$C_{\text{seq}(s,y)} = (S_{\text{total}} - S_{\text{harvested}(y)}) \times C_{\text{accumulated}}_{(d9-d31)},$$

где $C_{\text{seq}(s,y)}$ представляет массу уже накопленного углерода для сценария s и года y , тС/год ; S_{total} – представляет общую площадь лесопользования, га; $S_{\text{harvested}(y)}$ – представляет площадь, охваченную лесозаготовкой в год y , га; $C_{\text{accumulated}}_{(d9-d31)}$ – представляет коэффициент среднего уже накопленного углерода в год для деревьев возрастной декады d (где d изменяется от 9 до 31).

Группа компаний определила общий оптимистичный план увеличения зоны интенсификации лесопользования. Предполагается, что в 2022 г. доля интенсивного лесопользования составляла 0 %, что означает отсутствие интенсивных методов управления лесом. Однако начиная с 2023 г. доля интенсивного лесопользования постепенно возрастает. В 2025 г. она достигает 60 %, что указывает на значительное использование интенсивных методов управления лесом. Далее доля интенсивного лесопользования остается на уровне 60 % до 2029 г., а в 2030 г. увеличивается до 80 % и далее остается на таком же уровне.

Для отражения накопления углерода в каждый конкретный календарный год в проектной модели применяется такая же модель, как описано в формуле (8), однако с некоторыми модификациями:

- Ранее были получены значения массы углерода в тоннах на гектар в год для каждой возрастной декады деревьев интенсивного сценария по формулам (4–5).

- Для отражения постепенного развития интенсификации лесопользования с 2023 г. (в 2023–2024 гг. – 30 %, 2025–2029 гг. – 60 %, с 2030 г. – 80 % доля интенсивного лесопользования относительно традиционного) для каждого из годов роста дерева (от 1 до 310 лет) на восемь периодов лесопользования, когда осуществляется переход от традиционного к интенсивному лесопользованию (2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030 гг.), рассчитывается собственное значение массы углерода (тС/га/год) путем сложения значения массы углерода для конкретной возрастной декады для традиционного и интенсивного хода роста, умноженного на долю использования традиционного или интенсивного лесопользования.

- Полученные значения применяются в модели накопления углерода в каждый конкретный календарный год в проектной модели для расчета значений прироста углерода всех деревьев с 2023 по 2050 г.

Использование вышеприведенной модели и переходного сценария позволяет оценить поглощение углерода при приросте при заготовках для сценария «Т» (традиционное лесопользование) и сценария «И» (постепенный выход на проектную мощность интенсификации лесопользования) в диапазоне 2023–2050 гг.

Результаты

Результаты расчетов чистых выбросов парниковых газов группы компаний в Республике Карелия за исторический период 2016–2020 гг.: выбросы из парка транспортных средств составляют 55,116 тCO₂-э/год (что соответствует 2 % от общего объема выбросов), выбросы от производства составляют 0,63 млн тCO₂-э/год (18 %), лесные пожары – 1 787 тCO₂-э/год (0 %). Выбросы от порубочных остатков составляют 1,15 млн тCO₂-э/год, а прямые выбросы из пула товаров из заготовленной древесины оцениваются в 1,42 млн тCO₂-э/год, в результате чего общий объем выбросов составляет 3,26 млн тCO₂-э/год в среднем для периода 2016–2020 гг.

Рисунок 1 позволяет проиллюстрировать результаты расчетов по формулам (2–5) поглощения углерода лесами в аренде в зависимости от возраста древостоя с учетом рубок ухода в двух сценариях: традиционного и интенсивного лесопользования. Масса накопленного углерода измеряется в тоннах углерода на гектар в год (тС/га/год). На рис. 1 отмечено, что при выборе интенсивного способа лесозаготовки, который включает более частые рубки, такие как осветление, уход и прочистка леса, происходит резкое увеличение накопления углерода на 5-й декаде роста древостоя. Это означает, что в интенсивном лесопользовании на данном участке и при данном составе деревьев наблюдается более интенсивное накопление углерода на определенной стадии роста леса.

Расчеты поглощения парниковых газов в арендной базе были проведены на основе исторических данных 2016–2020 гг. по заготовке, математическое моделирование будущих периодов было проведено по формуле (8). Увеличение массы накопленного углерода в сценарии «И» (интенсивное лесопользование), по сравнению со сценарием «Т» (традиционное лесопользование), в период с 2023 по 2050 г. оценивается в 2,02 млн тCO₂ (табл. 5).

По результатам математического моделирования определено, что переход от традиционного к интенсивному лесопользованию приводит к увеличению накоплений углерода в лесах. Увеличение накопления массы CO₂-э в год происходит с момента предположительного старта внедрения интенсивной модели лесопользования в 2023 г., с выходом на проектную мощность интенсификации лесопользования в 2030 г. (рис. 2, табл. 5).

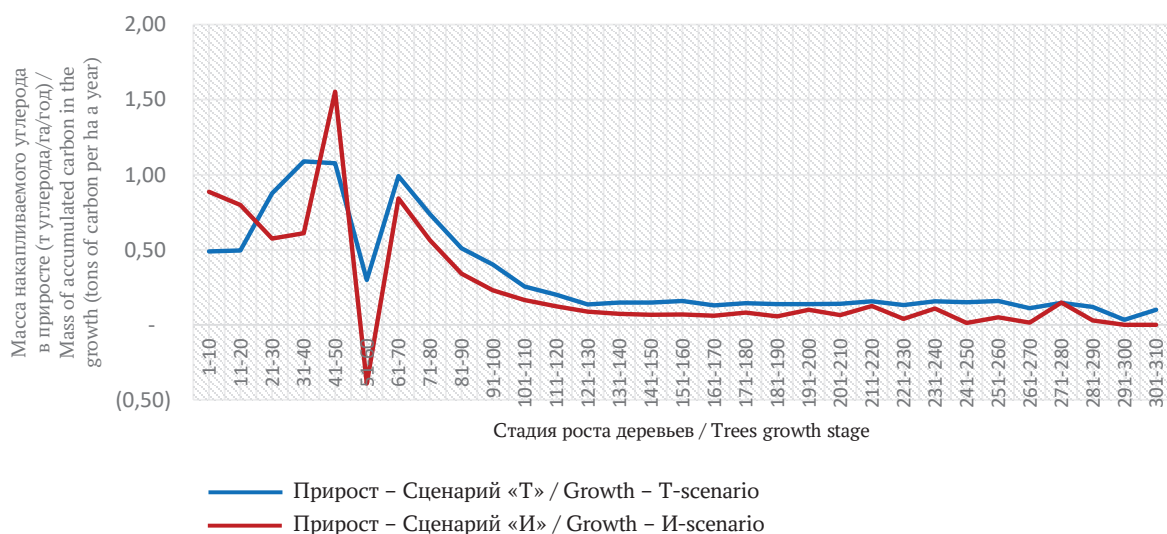


Рис. 1. Сравнение массы накапливаемого углерода на гектар в год в зависимости от стадии роста деревьев в двух сценариях лесопользования

Fig. 1. Comparing the mass of accumulated carbon per ha a year depending on the trees growth stage in two scenarios of forest management

Таблица 5

Выбросы и накопления углерода для расчета базового (сценарий «Т») и проектного (сценарий «И») сценариев, тCO₂-э/год. Шаг – пять лет

Table 5. Exhausts and accumulations of carbon for calculating the basic (T-scenario) and project (I-scenario) scenarios, tons of CO₂ equivalent per year. The step is five years

Год / Year	Выбросы от кроны и веток*, тCO ₂ -э / Exhausts from leafage and branches**, tons of CO ₂ equivalent per year	Выбросы от пула продуктов на древесной основе, тCO ₂ -э / Exhausts from wooden products, tons of CO ₂ equivalent per year	Накопленный углерод в лесной аренде при сценарии «Т», тCO ₂ -э / Accumulated carbon in forest lease in T-scenario, tons of CO ₂ equivalent per year	Накопленный углерод в лесной аренде при сценарии «И», тCO ₂ -э / Accumulated carbon in forest lease in I-scenario, tons of CO ₂ equivalent per year
2023	-1 185 213	-1 621 565	6 297 094,56	6 299 830
2025	-1 185 213	-1 687 770	6 294 015,85	6 304 958
2030	-1 185 213	-1 687 770	6 241 758,55	6 281 881
2035	-1 185 213	-1 687 770	6 205 353,61	6 279 339
2040	-1 185 213	-1 693 635	6 232 358,15	6 335 852
2045	-1 185 213	-1 693 635	6 253 574,65	6 368 226
2050	-1 185 213	-1 693 635	6 249 569,09	6 349 764

Примечание: параметры взяты константой: 1) выбросы от транспортных средств, тCO₂-э: –55 116^а; 2) выбросы от производства, тCO₂-э: –633 533^б; 3) выбросы от пожаров, тCO₂-э: –1 787^с.

* Значение не является константой в промежуточных периодах.

^а Данные основаны на методике, описанной в разделе 2.4 «Выбросы от транспортных средств».

^б Данные основаны на методике, описанной в разделе 2.5 «Выбросы от производства». В прогнозе использованы данные на 2023 год, приняты с предположением, что источники и объем выбросов останутся неизменными.

^с Данные основаны на методике, описанной в разделе 2.6 «Оценка выбросов от пожаров в периметре исследования».

Note: parameters are taken as constant: 1) exhausts from vehicles, tons of CO₂ equivalent: – 55,116^a; 2) exhausts from production, tons of CO₂ equivalent: –633,533^b; 3) exhausts from fires, tons of CO₂ equivalent: –1,787^c.

** Value is not constant in the intermediate periods.

^a Data based on methodology described in Section 2.4 “Exhausts from vehicles”.

^b Data based on methodology described in Section 2.5 “Exhausts from production”. The prognosis uses 2023 data assuming the sources and volume of exhausts will remain the same.

^c Data based on methodology described in Section 2.6 “Estimating exhausts from fires within the research area”.

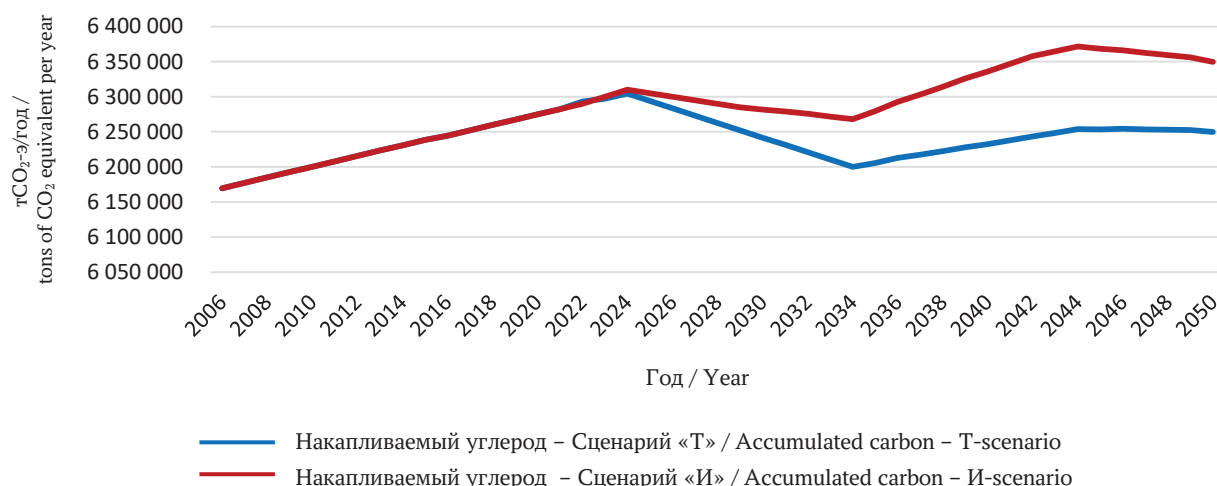


Рис. 2. Динамика накопления углерода лесами в различных сценариях лесопользования (традиционный и переход к интенсивному) с 2006 по 2050 г.

Fig. 2. Dynamics of carbon accumulation by forests in various scenarios of forest management (traditional and transition to intensive) from 2006 to 2050

Внедрение интенсивных методов лесопользования, оформленное как климатический проект, не только способствует оптимизации лесозаготовки, но и подчеркивает важность этой стратегии для климатических целей. Данный вывод подкрепляется вычислениями, оценивающими результативность климатического проекта, что в свою очередь расширяет практические аспекты внедрения интенсификации лесопользования. Этот взгляд обогащает понимание возможных взаимосвязей между экономической эффективностью и экологической устойчивостью. В результате данная работа может служить основой для дальнейших исследований, развивая аспекты интенсификации лесопользования и его воздействия на климатические факторы.

Вместе с тем важно отметить, что этот сценарий прироста не учитывает воздействия изменения климата на накопление углерода, которое может быть значительным. В целом к надежности поглощения углерода лесами следует относиться с осторожностью, поскольку засухи, вызванные изменением климата, могут приводить к тому, что леса из поглотителя парниковых газов превращаются в источник парниковых газов на ежегодной основе.

Таким образом, можно вычислить чистый баланс углерода в год для базового (сценарий «Т» – традиционное лесопользование) и проектного (сценарий «И» – постепенный переход к интенсивному лесопользованию с 2023 г. с выходом на проектную мощность интенсификации лесопользования в 2030 г.) сценариев. Функцию чистого баланса углерода для базового и проектных сценариев можно представить на рис. 3.

Рассчитаем средние значения результатов потенциального климатического проекта для двух периодов: с 2023 по 2034 г. (годы перехода к интенсификации лесопользования) и 2023–2050 гг. (выход интенсификации лесопользования на проектную мощность). Средние значения рассчитываются из разности чистого баланса углерода в тCO₂-э/год для сценариев «И» и «Т».

Период 2023–2034 гг.: среднее значение результативности потенциального климатического проекта – 32 437 тCO₂-э/год.

Период 2035–2050 гг.: среднее значение результативности потенциального климатического проекта – 72 341 тCO₂-э/год.

Для расчета доходов от продажи углеродных единиц нужно умножить количество тонн CO₂-э на цену за углеродную единицу. Национальная товарная биржа (входит в группу Мосбиржи) 26 сентября 2022 г. начала первые торги углеродными единицами в режиме товарных аукционов. Стартовая стоимость за единицу составила 900 руб., средневзвешенная цена продажи – 1 000 руб. Примем цену углеродной единицы за 1 000 руб.

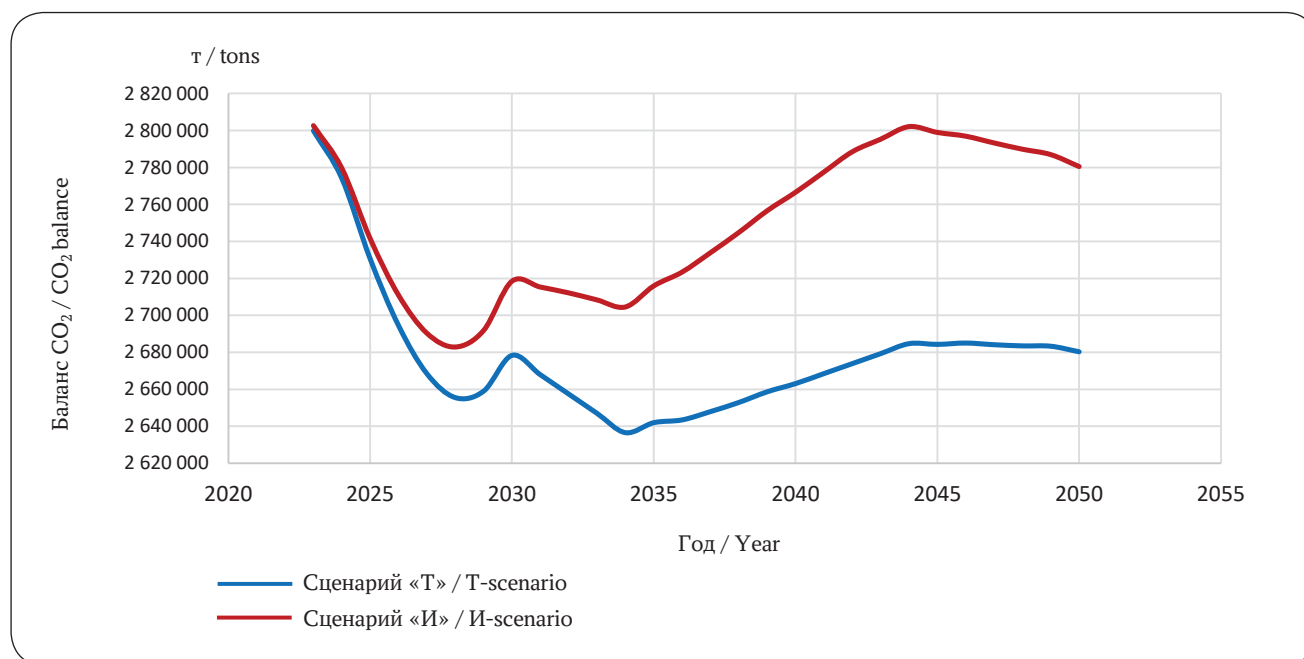


Рис. 3. Чистый баланс углерода, тCO₂-э/год, в диапазоне 2025–2050 гг.
Fig. 3. Net balance of carbon, tons of CO₂ equivalent per year, in 2025–2050 range

При этом, в соответствии с рекомендациями и обсуждениями высшего органа Конвенции ООН об изменении климата (UNFCCC) «Конференция сторон» (COP – Conference of the Parties), которая проводится ежегодно для принятия решений и координации действий по борьбе с изменением климата, обсуждения глобальных вопросов климатических изменений, принятию новых решений и договоренностей, а также по проведению переговоров по реализации соглашений, в том числе Парижского, среди представителей государств – участников Конвенции, часть углеродных единиц должна направляться на отчисления и буфер для гарантий реализации климатического проекта на протяжении 100 лет согласно условиям Парижского соглашения.

В данной логике формируются и национальные методологии климатических проектов. Так, согласно утвержденной в августе 2023 г. национальным Реестром углеродных единиц методологии № 0012 «Улучшение управления лесным хозяйством, в том числе снижение воздействия лесозаготовок», версия 2.0²⁰, есть пункт на стр. 29:

«9.12. Механизм по минимизации риска непостоянства:

– Необходимо предоставить гарантии, что результаты проекта сохранятся 100 лет. За каждые 10 лет, на которые не распространяются гарантии, необходимо дисконтировать 3 % выписанных углеродных единиц.

– Для минимизации риска непостоянства и наступления явления форс-мажора после кредитного периода при каждой выписке углеродных единиц необходимо дисконтировать 15 % выписанных углеродных единиц».

Согласно ст. 72 Лесного кодекса Российской Федерации²¹, договор аренды лесного участка, принадлежащего государству или муниципалитету, как правило, заключается на срок от 10 до 49 лет. Это правило также применимо к климатическим проектам, проводимым на землях лесного фонда в соответствии с текущей редакцией Лесного кодекса России. При анализе прибыльности климатических проектов учитывается коррекция с учетом времени для двух разных периодов исследования (табл. 6).

Таким образом, максимальные ожидаемые скорректированные доходы от продажи углеродных единиц составят в среднем 23 млн руб./год за период с 2023 по 2034 г. и в среднем 42 млн руб./год за период с 2023 по 2050 г. Таким образом, инициатор климатического проекта по улучшению управления лесным хозяйством также может сделать вывод о том, что в случае реализации проекта в области интенсификации лесопользования более выгоден длительный кредитный период, с учетом, что получение прибыли будет отсрочено по времени.

²⁰ Реестр углеродных единиц. Методологии климатических проектов. https://carbonreg.ru/ru/methodology/accepted_methodologies/

²¹ Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023).

Таблица 6

**Анализ результатов и экономические выводы для потенциального климатического проекта
по улучшению управления лесным хозяйством за счет внедрения интенсификации лесопользования
в Республике Карелия для арендной базы 2,25 млн га**

**Table 6. Analysis of results and economic benefits of a potential climatic project for improving forest management
by introducing intensive forest management in the Republic of Karelia for the lease area of 2.25 mln ha**

Период, гг. / Period, years	Средний доход от реализации результатов климатического проекта при цене 1 000 руб. за углеродную единицу, без учета корректировок, руб./год / Average income from selling the results of the climatic project at 1,000 rubles per carbon unit, without corrections, rubles/year	Средний доход от реализации результатов климатического проекта с учетом коррекции 1 (–3 % за каждые 10 лет без гарантии), руб./год / Average income from selling the results of the climatic project with correction 1 (–3% every 10 years without a guarantee), rubles/year	Средний доход от реализации результатов климатического проекта с учетом коррекции 2 (–15 % за каждую выписку углеродных единиц, минимально 2 выписки за каждый кредитный период), руб./год / Average income from selling the results of the climatic project with correction 2 (–15% for every excerpt of carbon units, min 2 excerpts for each credit period), rubles/year	Средний доход от реализации углеродных единиц, руб./га/год / Average income from selling the results carbon units, rubles/ha/year
2023–2035	32 436 540	27 473 749,05	23 352 686,69	10,377
2023–2050	72 340 624	61 272 508,79	42 890 756,15	20,389

Данный расчет не учитывает операционные и капитальные затраты на ведение лесопользования, среди которых закупка и обслуживание техники, строительство дорог, проведение таксации и лесоустройства и другое, а также разовые инвестиционные и регулярные операционные расходы на подготовку проекта: разработку проектной документации (*Project Design Document – PDD*), ее валидацию, подготовку отчетов о мониторинге, верификацию, а также услуги реестра углеродных единиц ОАО «Контур» (открытие счета, регистрация климатического проекта, зачисление на счет углеродных единиц). Также значимой статьёй расходов можно предположить проведение полевых измерений как части плана мониторинга климатических проектов, предусмотренных методологией № 0012 Реестра углеродных единиц. Согласно п. 6.2 методологии, в течение всего периода кредитования проекта мониторинг должен проводиться не реже одного раза в пять лет. Количество площадок наземного мониторинга может быть сокращено на 50 % в случае дополнительного использования дистанционных методов съемки лесного полога (спутниковые снимки, данные с беспилотных летательных аппаратов), однако представляется, что данные виды работ могут составлять значительную расходную часть.

Отметим, что в рамках исследования не дается кумулятивный финансовый эффект от реализации финансового проекта, не учитываются инфляционные риски. Однако на основе результатов данного исследования возможно рассчитать прибыль за вычетом единоразовых расходов, накопленную прибыль за вычетом единоразовых расходов, дисконтированную прибыль и накопленную дисконтированную прибыль. Подобные расчеты помогут оценить полную экономическую эффективность климатического проекта и его устойчивость в долгосрочной перспективе, оценить соотношение между затратами и планируемыми доходами, принимать более обоснованные решения и эффективно использовать ресурсы для достижения как экономических, так и климатических целей.

Также, согласно разделу «Определение базового и проектного сценариев», для целей данного исследования был сделан ряд целесообразных допущений.

В целом выбросы и накопления углерода в результате прироста леса при традиционном и интенсивном лесопользовании недостаточно изучены. При уточнении существующих оценок рекомендуется рассмотреть вопрос о моделировании данных на уровне кварталов и выделов, рассмотреть возможные последствия изменения климата, такие как засухи, а также применять данные спутникового зондирования и другие методы верификации модели.

Хотя в целом существует понимание того, что устойчивая интенсификация лесопользования приведет к увеличению накоплений углерода в лесах при одновременном производстве такого же количества древесины, не менее важно учитывать финансовые издержки и выгоды.

Выводы

Результаты анализа показали комплексную оценку баланса углерода для деятельности группы компаний в регионе, включая как выбросы, так и накопления углерода. Основными источниками выбросов парниковых газов для ГК в Республике Карелия были транспортные средства и производство, вносящие 2 и 18 % соответственно. Лесные пожары и порубочные остатки также оказывали влияние на выбросы, но их доля была незначительной. Средний объем выбросов парниковых газов в исследуемом периоде составил 3,26 млн тCO₂-эквивалента в год. Чистый баланс углерода варьировал в зависимости от различных сценариев прироста древостоя, колеблясь от 1,57 до 2,95 млн тCO₂-эквивалента в год.

Проектный сценарий, основанный на интенсификации лесопользования, предполагает потенциал для увеличения массы накопленного углерода. Оценка увеличения составила 2,02 млн тCO₂, представленная в двух периодах: 2023–2034 гг. и 2023–2050 гг.: 32 437 тCO₂-э в год и 72 341 тCO₂-э в год соответственно. Рассчитанные ожидаемые скорректированные доходы от продажи углеродных единиц составляют 23 млн руб. в год с 2023 по 2034 г. и 42 млн руб. в год с 2023 по 2050 г. Эти результаты представляют лишь доходную часть и не учитывают операционные и капитальные расходы.

Таким образом, методы интенсификации лесного хозяйства в бореальных лесах, характерных для конкретных регионов Российской Федерации, могут способствовать повышению накопления углерода, предлагая потенциал для сокращения накопления парниковых газов, а также имеют потенциал смягчения последствий изменения климата. Включение лесов в схемы управления выбросами углерода и их точная количественная оценка являются сложной задачей и сильно различаются в зависимости от таких факторов, как типы леса, участки и системы управления (Fahey et al., 2010). Инвестиции в лесохозяйственные проекты в качестве компенсации выбросов углерода потенциально могут быть достаточно прибыльными на действующем в России с сентября 2022 г. добровольном рынке углеродных единиц, но сложны с точки зрения критериев проверки, дополнительности и постоянства результатов таких проектов. Для стимулирования инвестиций в управление углеродом в лесах за счет улучшения управления лесным хозяйством, в том числе в рамках интенсификации лесопользования, необходимо не только развивать исследования в области создания и апробации комплексной системы учета выбросов и поглощений парниковых газов природных экосистем на основе расчетных моделей, полевых данных и данных спутникового дистанционного зондирования, но и развивать методологическую и нормативно-правовую базу в области применения интенсивного лесопользования в России в контексте депонирования углерода.

Одним из существенных эмпирических выводов данного исследования является то, что ограничение срока аренды лесных участков до 49 лет, установленное Лесным кодексом, оказывает существенное влияние на экономические результаты климатических проектов и создает ограничения для их гарантированной реализации на 100 лет в соответствии с требованиями Парижского соглашения. В данной нормативно-правовой базе просматривается потребность в корректировке сроков предоставления лесов в аренду/возможности приоритетной пролонгации аренды в случае реализации эффективных климатических проектов, чтобы обеспечить согласованность с международными нормами и обеспечить более надежные механизмы для гарантии устойчивости климатических проектов на более длительные сроки.

Дополнительные исследования на стыке знаний о климате, лесопользовании, землеустройстве и экономики станут критически важными для разработки более эффективных регулирований и политик в области климатических проектов. Такие исследования помогут определить оптимальные стратегии использования лесных ресурсов, учитывая не только аспекты устойчивости климатических проектов, но и экономическую целесообразность и социальную устойчивость.

Список литературы

Ваганов, Е. А., Порфирьев, Б. Н., Широков, А. А., Колпаков, А. Ю., Пыжев, А. И. (2021). Снижение рисков климатических изменений и их последствий для экономики: оценка вклада российских лесов. *Научные труды. Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН*, 7–33. <https://doi.org/10.47711/2076-318-2021-7-33>

Добрынин, Д. А., Сунгуров, Р. В. (2014). К проблеме выявления лесных участков, на которых возможно экономически эффективное и экологически устойчивое лесопользование. В сб. Н. Шматков (ред.), *Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития* (с. 21–45). Москва.

- Желдак, В. И. (2023). Вопросы адаптивно-целевого применения лесоводственных рубок в целях повышения эффективности депонирования и консервации углерода лесами. *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование*, 1(57), 21–42. <https://journals.volgatech.net/forest/article/view/925/782>
- Замолодчиков, Д. Г. (2021). Углеродный цикл и изменения климата. *Окружающая среда и энергосведение*, 2, 53–69.
- Коротков, В. Н. (2022). Лесные климатические проекты в России: ограничения и возможности. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 7(4), 1–8. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-4-3>
- Корчагов, С. А. (2014). Нормативно-правовая база для интенсивного лесного хозяйства на федеральном и региональном уровне (на примере Вологодской области). В сб. Н. Шматков (ред.), *Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития* (с. 45–83). Москва.
- Курбатова, А. И. (2020). Аналитический обзор по современным исследованиям изменений биотических составляющих углеродного цикла. *Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*, 28(4), 428–438. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-428-438>
- Липка, О. Н., Корзухин, М. Д., Замолодчиков, Д. Г., Добролюбов, Н. Ю., Крыленко, С. В., Богданович, А. Ю., Семенов, С. М. (2021). Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата. *Лесоведение*, 5, 531–546. <https://doi.org/10.31857/s0024114821050077>
- Лукина, Н. В. (2020). Глобальные вызовы и лесные экосистемы. *Вестник Российской академии наук*, 90(6), 528–532. <https://doi.org/10.31857/s0869587320060080>
- Лукина, Н. В., Гераскина, А. П., Горнов, А. В., Шевченко, Н. Е., Куприн, А. В., Чернов, Т. И., Чумаченко, С. И., Шанин, В. Н., Кузнецова, А. И., Тебенькова, Д. Н., Горнова, М. В. (2020). Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований. *Вопросы лесной науки*, 3(4), 1–90. <https://doi.org/10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-90>
- Мамонов, Д. Н., Морковина, С. С., Матвеев, С. М., Шешнищан, С. С. (2022). Сравнительная оценка методов учета депонирования углерода сосново-березовыми лесными насаждениями Воронежской области. *Лесотехнический журнал*, 12(3), 4–15. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1>
- Порфирьев, Б. Н. (2019). Эффективная стратегия действий в отношении изменений климата и их последствий для экономики России. *Проблемы прогнозирования*, 3, 3–16.
- Птичников, А. В., Шварц, Е. А., Попова, Г. А., Байбар, А. С. (2022). Роль лесов в реализации стратегии низкоуглеродного развития России. *Доклады Российской академии наук. Науки о земле*, 507(1), 153–158. <https://doi.org/10.31857/s268673972260120x>
- Рай, Е. А., Слаников, С. И., Бурова, Н. В. (2013). Российское законодательство и сохранение биологического разнообразия в лесах: возможности и проблемы. В сб. Н. Шматков (ред.), *Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития* (с. 137–149). Москва.
- Романюк, Б. Д. (2013). Требования к нормативам для экономически обоснованной модели лесопользования. В сб. Н. Шматков (ред.), *Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития* (с. 9–21). Москва.
- Российская академия наук, отделение биологических наук РАН, Научный совет РАН по лесу, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (2021). *Резолюция по итогам научных дебатов «Оценка поглощения парниковых газов лесами: мифы и реальность»*, 4 марта 2021 г., г. Москва.
- Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства. (2015). *Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов*. Санкт-Петербург.
- Синькевич, С. М. (2013). Правила ухода от дохода: о некоторых экономических и экологических аспектах нормативных документов по рубкам ухода на примере Республики Карелия. В сб. Н. Шматков (ред.), *Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития* (с. 111–123). Москва.
- Соколов, А. И. (2013). Нормативы и практика лесовосстановления: ситуация в Республике Карелия. В сб. Н. Шматков (ред.), *Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития* (с. 103–111). Москва.
- Сонген, Б., Андраско, К., Гитарский, М., Коровин, Г., Лестадиус, Л., Мюррей, Б., Уткин, А., Замолодчиков, Д. (2005). *Пулы и потоки углерода в лесном и земельном фондах России: инвентаризация и потенциал смягчения последствий климатических изменений*. Институт мировых ресурсов.
- Тебенькова, Д. Н., Катаев, А. Д. (2022). Мультифункциональное лесное хозяйство или заготовка древесины? *Resources and Technology*, 19(1), 87–113. <https://doi.org/10.15393/j2.art.2022.6063>
- Усольцев, В. А., Ковязин, В. Ф., Цепордей, И. С. (2021). Текущее накопление углерода в лесах двух экорегионов России. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 237, 75–96. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2021.237.75-96>
- Уткин, А. И., Замолодчиков, Д. Г., Коровин, Г. Н., Нефедьев, В. В., Гульбе, Т. А., Гульбе, Я. И., Гамбург, С. П. (1997). Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов. *Лесоведение*, 5, 51–66.
- ФАО. (2021). *Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 года*. Основной отчет. Рим.
- Федоров, Б. Г. (2017). *Российский углеродный баланс*. Москва: Научный Консультант.
- Филипчук, А. Н., Малышева, Н. В., Моисеев, Б. Н., Страхов, В. В. (2016). Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы. *Лесохозяйственная информация*, 3, 36–85.
- Швиденко, А. З., Щепашенко, Д. Г. (2014). Углеродный бюджет лесов России. *Сибирский лесной журнал*, 1, 69–92.

- Angelstam, P., Naumov, V., & Elbakidze, M. (2016). Transitioning from Soviet wood mining to sustainable forest management by intensification: Are tree growth rates different in northwest Russia and Sweden? *Forestry*, 90, 292–303.
- Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320 (5882), 1444–1449.
- Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., & Federici, S. (2019). *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Switzerland: IPCC.
- CDM EB75, Annex 30, AR-ACM0003, Afforestation and reforestation of lands except wetlands, Version 2.0 UNFCCC. Bonn, Germany.
- Dobrynin, D., Jarlebring, N. Y., Mustalahti, I., Sotirov, M., Kulikova, E., & Lopatin, E. (2021). The Forest Environmental Frontier in Russia: Between Sustainable Forest Management Discourses and ‘wood mining’ practice. *Ambio*, 50(12), 2138–2152.
- Eggleson, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Japan: IGES.
- Elbakidze, M., Andersson, K., Angelstam, P., Armstrong, G. W., Axelsson, R., Doyon, F., ... Pautov, Y. (2013). Sustained Yield Forestry in Sweden and Russia: How Does it Correspond to Sustainable Forest Management Policy? *Ambio*, 42(2), 160–173.
- Fahey, T. J., Woodbury, P. B., Battles, J. J., Goodale, C. L., Hamburg, S. P., Ollinger, S. V., & Woodall, C. W. (2010). Forest carbon storage: ecology, management, and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(5), 245–252.
- Food and Agriculture Organisation of the United Nations (2005). *Global Forest Resources Assessment. Country reports. Russian Federation. FRA2005/053*. Rome 2005.
- Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A. Z., & Schepaschenko, D. G. (2015). Boreal Forest Health and Global Change. *Science*, 349(6250), 819–822. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9092>
- Goodale, C. L., Apps, M. J., Birdsey, R. A., Field, C. B., Heath, L. S., Houghton, R. A., ... Shvidenko, A. Z. (2002). Forest Carbon Sinks In The Northern Hemisphere. *Ecological Applications*, 12(3), 891–899. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0891:fc sitn\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0891:fc sitn]2.0.co;2)
- Houghton, R. A., House, J. I., Pongratz, J., van der Werf, G. R., DeFries, R. S., Hansen, M. C., Le Quéré, C., & Ramankutty, N. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9(12), 5125–5142. <https://doi.org/10.5194/bg-9-5125-2012>
- Hynynen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., ... Eerikäinen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*, 134(3), 415–431. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0860-0>
- Klapwijk, M. J., Boberg, J., Bergh, J., Bishop, K., Björkman, C., Ellison, D., ... Mårald, E. (2018). Capturing complexity: Forests, decision-making and climate change mitigation action. *Global Environmental Change*, 52, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.07.012>
- Mokany, K., Raison, J. R., & Prokushkin, A. S. (2006). Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 12, 84–96. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x>
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Park, A., Puettmann, K., Wilson, E., Messier, C., Kames, S., & Dhar, A. (2014). Can Boreal and Temperate Forest Management be Adapted to the Uncertainties of 21st Century Climate Change? *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 251–285. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.858956>
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Japan: IGES.
- Puettmann, K. J., Coates, K. D., & Messier, C. (2009). *A Critique of Silviculture: Managing for Complexity*. Washington, DC: Island Press.
- VCS. (2016), *VM10 Methodology for Improved Forest Management: Conversion from Logged to Protected Forest, v1.3*. VERRA. Washington DC, USA.
- VCS. (2020). *Verified Carbon Standard Methodologies*, VERRA. Washington DC, USA.
- Winjum, J., Brown, S., & Schlamadinger, B. (1998). Forest Harvests and Wood Products: Sources and Sinks of Atmospheric Carbon Dioxide. *Forest Science*, 44(2), 272–284.

References

- Angelstam, P., Naumov, V., & Elbakidze, M. (2016). Transitioning from Soviet wood mining to sustainable forest management by intensification: Are tree growth rates different in northwest Russia and Sweden? *Forestry*, 90, 292–303.
- Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320 (5882), 1444–1449.
- Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., & Federici, S. (2019). *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Switzerland: IPCC.

CDM EB75, Annex 30, AR-ACM0003, Afforestation and reforestation of lands except wetlands, Version 2.0 UNFCCC. Bonn, Germany.

Dobrynin, D. A., & Sungurov, R. V. (2014). On the issue of identifying forest areas for economically effective and ecologically sustainable forest management. In N. Shmatkov (Ed.), *Intensive sustainable forest management: barriers and prospects of development* (pp. 21–45). Moscow.

Dobrynin, D., Jarlebring, N. Y., Mustalahti, I., Sotirov, M., Kulikova, E., & Lopatin, E. (2021). The Forest Environmental Frontier in Russia: Between Sustainable Forest Management Discourses and ‘wood mining’ practice. *Ambio*, 50(12), 2138–2152.

Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Japan: IGES.

Elbakidze, M., Andersson, K., Angelstam, P., Armstrong, G. W., Axelsson, R., Doyon, F., ... Pautov, Y. (2013). Sustained Yield Forestry in Sweden and Russia: How Does it Correspond to Sustainable Forest Management Policy? *Ambio*, 42(2), 160–173.

Fahey, T. J., Woodbury, P. B., Battles, J. J., Goodale, C. L., Hamburg, S. P., Ollinger, S. V., & Woodall, C. W. (2010). Forest carbon storage: ecology, management, and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(5), 245–252.

FAO. (2021). *Global estimation of forest resources for 2020*. Main report. Rome. (In Russ.).

Fedorov, B. G. (2017). *Russian carbon balance*. Moscow: Nauchnyi Konsultant. (In Russ.).

Filipchuk, A. N., Malysheva, N. V., Moiseev, B. N., & Strakhov, V. V. (2016). Analytical overview of methodologies calculating missions and absorption of greenhouse gases by forests from the atmosphere. *Forestry Information*, 3, 36–85. (In Russ.).

Food and Agriculture Organisation of the United Nations (2005). *Global Forest Resources Assessment. Country reports. Russian Federation. FRA2005/053*. Rome 2005.

Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A. Z., & Schepaschenko, D. G. (2015). Boreal Forest Health and Global Change. *Science*, 349(6250), 819–822. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9092>

Goodale, C. L., Apps, M. J., Birdsey, R. A., Field, C. B., Heath, L. S., Houghton, R. A., ... Shvidenko, A. Z. (2002). Forest Carbon Sinks In The Northern Hemisphere. *Ecological Applications*, 12(3), 891–899. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0891:fc sitn\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0891:fc sitn]2.0.co;2)

Houghton, R. A., House, J. I., Pongratz, J., van der Werf, G. R., DeFries, R. S., Hansen, M. C., Le Quéré, C., & Ramankutty, N. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9(12), 5125–5142. <https://doi.org/10.5194/bg-9-5125-2012>

Hyninen, J., Salminen, H., Ahtikoski, A., Huuskonen, S., Ojansuu, R., Siipilehto, J., ... Eerikäinen, K. (2015). Long-term impacts of forest management on biomass supply and forest resource development: a scenario analysis for Finland. *European Journal of Forest Research*, 134(3), 415–431. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0860-0>

Klapwijk, M. J., Boberg, J., Bergh, J., Bishop, K., Björkman, C., Ellison, D., ... Mårald, E. (2018). Capturing complexity: Forests, decision-making and climate change mitigation action. *Global Environmental Change*, 52, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.07.012>

Korchagov, S. A. (2014). Legal framework for intensive forest management at federal and regional levels (by the example of Vologda oblast). In N. Shmatkov (Ed.), *Intensive sustainable forest management: barriers and prospects of development* (pp. 45–83). Moscow. (In Russ.).

Korotkov, V. N. (2022). Forest climate projects in Russia: limitations and opportunities. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 7(4). (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2022-4-3>

Kurbatova, A. I. (2020). Analytical review of modern studies of changes in the biotic components of the carbon cycle. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 28(4), 428–438. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-428-438>

Lipka, O. N., Korzukhin, M. D., Zamolodchikov, D. G., Dobrolyubov, N. Yu., Krylenko, S. V., Bogdanovich, A. Yu., & Semenov, S. M. (2021). A role of forests in natural systems adaptation to climate change. *Lesovedenie*, 5, 531–546. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/s0024114821050077>

Lukina, N. V. (2020). Global challenges and forest ecosystems. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk*, 90(6), 528–532. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/s0869587320060080>

Lukina, N. V., Geraskina, A. P., Gornov, A. V., Shevchenko, N. E., Kuprin, A. V., Chernov, T. I., Chumachenko, S. I., Shanin, V. N., & Kuznetsova, A. I. (2020). Biodiversity and climate regulating functions of forests: current issues and prospects for research. *Forest Science Issues*, 3(4), 1–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-90>

Mamonov, D. N., Morkovina, S. S., Matveev, S. M., & Sheshnitsan, S. S. (2022). Comparative evaluation of carbon sequestration accounting methods by pine-birch forest plantations in Voronezh region. *Forest Engineering journal*, 12(3), 4–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1>

Mokany, K., Raison, J. R., & Prokushkin, A. S. (2006). Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 12, 84–96. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x>

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>

Park, A., Puettmann, K., Wilson, E., Messier, C., Kames, S., & Dhar, A. (2014). Can Boreal and Temperate Forest Management be Adapted to the Uncertainties of 21st Century Climate Change? *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 251–285. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.858956>

- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Japan: IGES.
- Porfiriev, B. N. (2019). Effective action strategy to cope with climate change and its impact on Russia's economy. *Studies on Russian Economic Development*, 30(3), 235–244. (In Russ.).
- Ptichnikov, A. V., Shvarts, E. A., Popova, G. A., & Baibar, A. S. (2022). The role of forests in the implementation of Russia's low-carbon development strategy. *Doklady Rossijskoj Akademii Nauk. Nauki o Zemle*, 507(1), 981–985. (In Russ.).
- Puettmann, K. J., Coates, K. D., & Messier, C. (2009). *A Critique of Silviculture: Managing for Complexity*. Washington, DC: Island Press.
- Rai, E. A., Slastnikov, S. I., & Burova, N. V. (2013). Russian legislation and preservation of biological diversity in forests: opportunities and problems. In N. Shmatkov (Ed.), *Intensive sustainable forest management: barriers and prospects of development* (pp. 103–111). Moscow. (In Russ.).
- Romanyuk, B. D. (2013). Requirements to norms for economically substantiated model of forest management. In N. Shmatkov (Ed.), *Intensive sustainable forest management: barriers and prospects of development* (pp. 9–21). Moscow. (In Russ.).
- Russian Academy of Sciences, Section of Biological Sciences of the RAS, RAS Scientific Council on forests, RAS Center for the Issues of Forest Ecology and Productivity. (2021). *Resolution on the results of scientific debate "Assessing greenhouse gas absorption by forests: myths and reality", March 4, 2021, Moscow*. (In Russ.).
- Saint Petersburg Forestry Research Institute. (2015). *Concept of intensive use and reproduction of forests*. Saint Petersburg. (In Russ.).
- Shvidenko, A. Z., & Schepaschenko, D. G. (2014). Carbon Budget of Russian Forests. *Siberian Journal of Forest Science*, 1, 69–92. (In Russ.).
- Sinkevich, S. M. (2013). Rules for evading income: on some economic and ecological aspects of the legal framework on forest cutting by example of the Republic of Karelia. In N. Shmatkov (Ed.), *Intensive sustainable forest management: barriers and prospects of development* (pp. 111–123). Moscow. (In Russ.).
- Sokolov, A. I. (2013). Norms and practice of forest regeneration: situation in the Republic of Karelia. In N. Shmatkov (Ed.), *Intensive sustainable forest management: barriers and prospects of development* (pp. 103–111). Moscow. (In Russ.).
- Songen, B., Andpasko, K., Gitapaskii, M., Kopovin, G., Lestadius, L., Myuppei, B., Utkin, A., & Zamolodchikov, D. (2005). *Carbon pools and streams in the Russian forest and land funds: inventory and potential of mitigating the climatic change consequences*. World Resources Institute. (In Russ.).
- Tebenkova, D. N., & Kataev, A. D. (2022). Multifunctional forestry or timber harvesting? *Resources and Technology*, 19(1), 87–113. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j2.art.2022.6063>
- Usoltsev, V. A., Kovyazin, V. F., & Tsepordey, I. S. (2021). Current carbon storage in forests of two ecoregions of Russia. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 237, 75–96. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2021.237.75-96>
- Utkin, A. I., Zamolodchikov, D. G., Korovin, G. N., Nefedev, V. V., Gulbe, T. A., Gulbe, Ya. I., & Gamburg, S. P. (1997). Determining the carbon stock of plantations on testing areas: comparing allometric and conversion-volume methods. *Lesovedenie*, 5, 51–66. (In Russ.).
- Vaganov, E. N., Porfiriev, B. N., Shirov, A. A., Kolpakov, A. Yu., & Pyzhev, A. I. (2021). Assessment of the Contribution of Russian Forests to Climate Change Risk Reduction and its Impacts. *Scientific works: Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences*, 7–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.47711/2076-318-2021-7-33>
- VCS. (2016). *VM10 Methodology for Improved Forest Management: Conversion from Logged to Protected Forest, v1.3*. VERRA. Washington DC, USA.
- VCS. (2020). *Verified Carbon Standard Methodologies*. VERRA. Washington DC, USA.
- Winjum, J., Brown, S., & Schlamadinger, B. (1998). Forest Harvests and Wood Products: Sources and Sinks of Atmospheric Carbon Dioxide. *Forest Science*, 44(2), 272–284.
- Zamolodchikov, D. (2021). Carbon Cycle and Climate Change. *Journal of Environmental Earth and Energy Study*, 2, 53–69. (In Russ.).
- Zheldak, V. I. (2023). Issues of adaptive-targeted use of silvicultural cuttings in order to increase the efficiency of carbon sequestration and conservation by forests. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*, 1(57), 21–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2023.1.21>

Конфликт интересов / Conflict of Interest

Автором не заявлен / No conflict of interest is declared by the author

История статьи / Article history

Дата поступления / Received 13.06.2023

Дата одобрения после рецензирования / Date of approval after reviewing 09.11.2023

Дата принятия в печать / Accepted 09.11.2023