

## Модель снижения углеродного следа от деятельности предприятий лесной промышленности

М. О. Якушева, С. О. Медведев ✉

Сибирский государственный университет науки и технологий  
им. М. Ф. Решетнева, Российская Федерация  
(660037, г. Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31)

**Аннотация.** Цель – исследование особенностей выделения парниковых газов в процессе деятельности предприятий лесной промышленности России, а также моделирование процессов, способствующих их снижению.

**Материалы и методы.** Исследование опирается на отечественные и зарубежные исследования, а также собственные разработки. Статистическая информация использована из единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС). Обработка данных выполнялась в MS Office Excel и Statistica.

**Результаты и обсуждение.** В ходе исследования выявлено, что лесная отрасль является уникальным субъектом в вопросе карбонизации атмосферы. Анализ всех составляющих производственных процессов в лесопромышленном комплексе позволил выявить основные источники парниковых выбросов, а также возможные пути их сокращения. Разработана концептуальная модель декарбонизирующей деятельности предприятий лесопромышленного комплекса (ЛПК).

**Выводы.** Декарбонизирующий эффект от лесных насаждений в России полностью покрывает объем парниковых выбросов от деятельности ЛПК. Однако необходимо сокращать даже существующий размер углеродного следа. Для этого у ЛПК России есть все необходимые предпосылки, а уровень развития современных технологий и тенденции в сфере энергетики соответствуют нарастающему общественному запросу на снижение углеродного следа.

**Ключевые слова:** углеродный след, декарбонизация, лесные ресурсы, чистая энергия.

**Источник финансирования:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-78-10002, <https://rscf.ru/project/22-78-10002/>.

**Для цитирования:** Якушева М. О., Медведев С. О. Модель снижения углеродного следа от деятельности предприятий лесной промышленности // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2025, № 2, с. 170-176. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/170-176>

### ВВЕДЕНИЕ

Лесопромышленный комплекс нашей страны представлен четырьмя отраслями (упрощенно): лесозаготовка, деревообработка, целлюлозно-бумажная промышленность, лесохимия. Все отрасли лесного комплекса, в противовес декарбонизирующим свойствам лесных насаждений, способствуют выделению парниковых газов, с одной стороны, путем вырубki и сокращения лесных насаждений, и, с другой стороны, – в процессе функционирования перерабатывающих предприятий.

Углеродным следом называют общий объем парниковых газов, которые вследствие деятельности человека выделяются в атмосферу. Состав парниковых газов может различаться в зависимости от природы их происхождения, но в основном это водяной пар, CO<sub>2</sub> (диоксид углерода или углекислый газ), метан, закись азота, гидрохлорфторуглероды (ГХФУ), гидрофторуглероды (ГФУ) и озон. Наибольшую распространённость в парниковых газах имеет CO<sub>2</sub>, в связи с чем именно на

него и нацелено внимание природоохранных инициатив. Меры, предпринимаемые для уменьшения выбросов углекислого газа в атмосферу, называют «декарбонизацией».

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование опирается на труды отечественных и зарубежных авторов, собственные исследования авторского коллектива. Исходными данными для выявления соотношения площади лесов с общей площадью субъектов страны являлись сведения, представленные в ЕМИСС (единой межведомственной информационно-статистической системе) [2]. Расчеты, статистическая оценка и визуализация результатов производились в программных продуктах MS Office Excel и Statistica. Схема образования углеродного следа от деятельности ЛПК и модель декарбонизирующей деятельности предприятий ЛПК формировались на основе анализа литературных источников и практики работы предприятий лесной отрасли.

© Якушева М. О., Медведев С. О., 2025

✉ Медведев Сергей Олегович, e-mail: medvedev\_serega@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольший углеродный след тянется за промышленностью различных направлений (с учетом энергии, используемой для обеспечения производств). Не является исключением и лесная отрасль, хоть и имеется некоторый парадокс: лесопромышленный комплекс одновременно является и источником парниковых газов (как совокупность промышленных объектов), и декарбонизатором (как совокупность лесных запасов). Рассмотрим лесной комплекс России с точки зрения его декарбонизирующей способности. По данным Объединенного исследовательского центра Европейского Союза по итогам 2022 года Россия заняла четвертое место в мире по объемам производимых парниковых газов (после Китая, США и Индии), произведя 1 909 миллионов тонн  $\text{CO}_2$ -эквивалента [6]. По данным Глобальной оценки лесных ресурсов, Россия обладает наибольшей площадью лесных земель (более 1,1 миллионов га, что соответствует 20 % от мировых значений). Оценки поглощающей способности отечественных лесов составляет существенно разнятся и составляют от 150 до 1000 миллионов тонн [3]. При этом углеродный след от деятельности предприятий лесного комплекса на текущий момент не оценен. Однако в рейтинге отечественных компаний с заметным углеродным следом нет ни одного предприятия, осуществляющего деятельность в сфере ЛПК. Самым карбонизирующим сектором экономики России является энергетика [4]. Получается, что лесопромышленный комплекс полностью поглощает свой углеродный след благодаря собственно лесным запасам, однако для покрытия всех

углеродных выбросов от деятельности отечественных предприятий декарбонизирующей способности лесов недостаточно.

Распространение лесных угодий в России зависит от климатических условий местности, наиболее лесистыми макрорегионами считают Северо-запад страны (здесь лесом покрыто около 55 % площади), Сибирь (лесистость более 51 %) и Дальний Восток (чуть менее 50 % площади покрывают леса). В целом, в России насчитывают 24 региона, площадь которых занята лесными насаждениями более чем наполовину. На рисунке 1 приведена карта лесистости площади нашей страны.

Однако поглощающая способность лесных насаждений неодинакова, наивысшие показатели имеют лиственные породы – осина и береза (до 3,6 и 3,3 тонн  $\text{CO}_2$  в год на 1 гектар соответственно). Хвойные породы имеют более низкие показатели: 2,4 тонны – для сосны, 2 тонны – для ели и пихты, 1,8 тонн для кедра и лиственницы. Породный состав лесных угодий России неоднороден, в целом по стране самыми распространенными породами являются хвойные: лиственница, сосна, ель (35,5 %, 15,4 % и 10 % от общей лесной массы соответственно). Лиственные породы представлены по большей части березой, в меньшей степени осиной (15,4 % и 3,2 % соответственно) [1].

Будучи природным сырьем, лесной фонд претерпевает постоянные изменения в количественном и качественном отношении. Сокращение лесного фонда происходит за счет регулярных рубок (сплошных, выборочных или рубок ухода), также немаловажным фактором сокращения лесных площадей являются по-

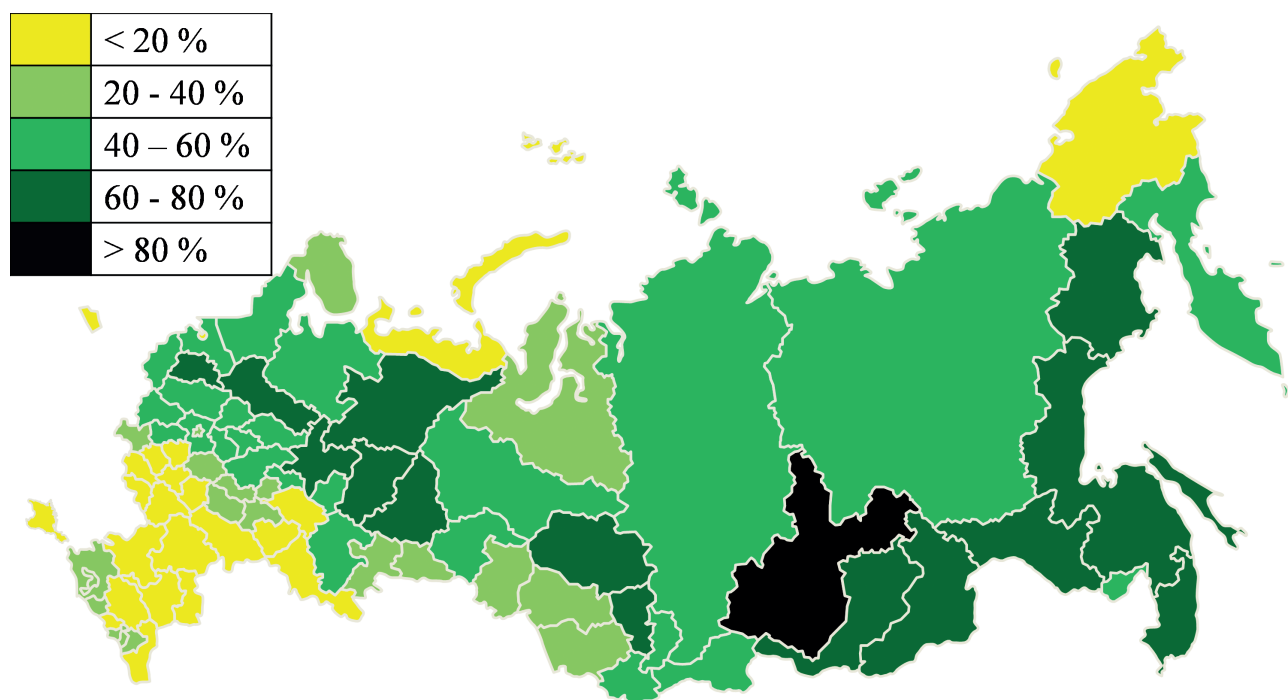


Рис. 1. Карта соотношения площади лесов с общей площадью субъектов РФ  
[Fig. 1. Map of the ratio of forest area to the total area of the constituent entities of the Russian Federation]

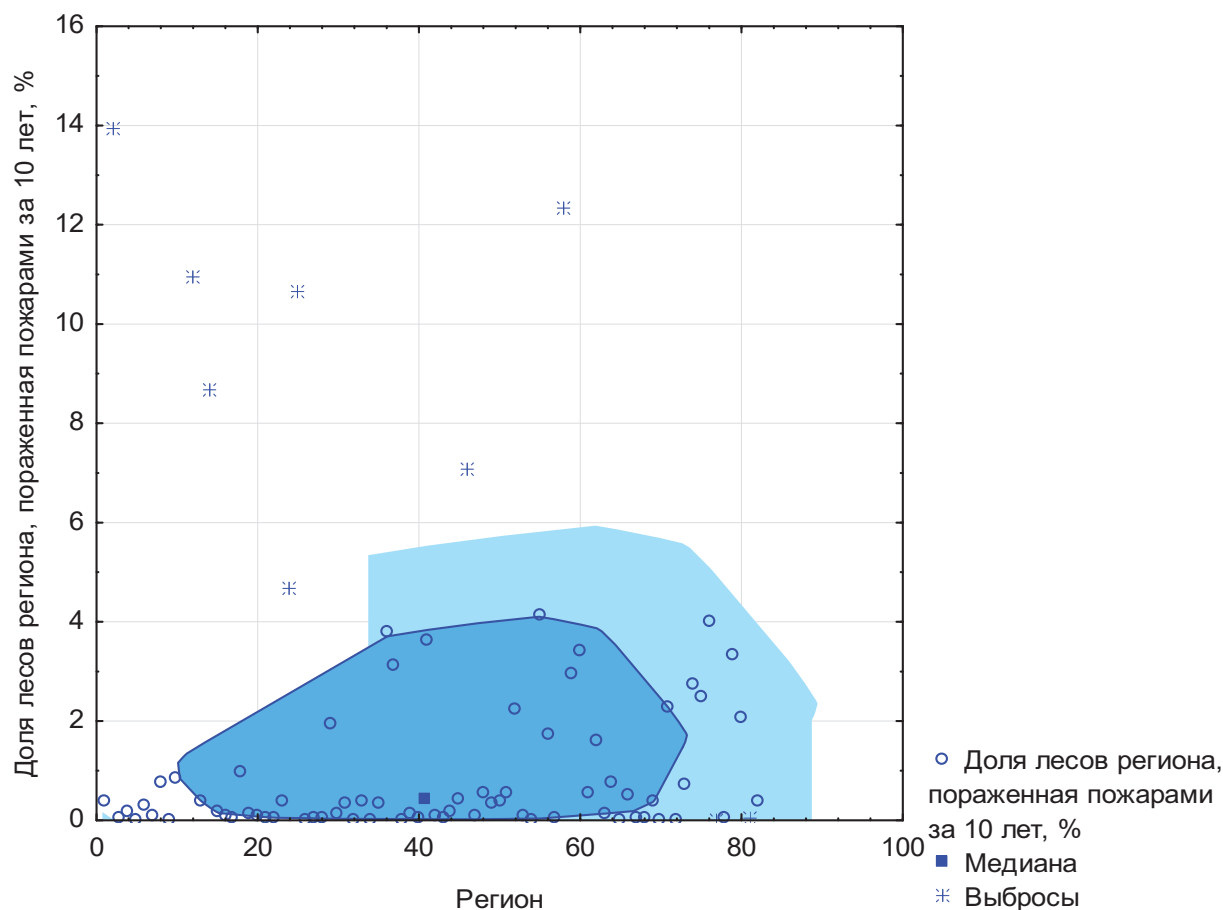


Рис. 2. Доля лесов региона (от площади), пораженная пожарами за период 2013-2022 годов, % (составлено авторами)  
[Fig. 2. Share of forests in the region (by area) affected by fires for the period 2013-2022, %]

жары. Лесные пожары сокращают декарбонизирующие способности лесов не только путем прямого сокращения лесных площадей, но и тем, что во время горения высвобождается углерод, накопившийся в древесине за время жизни дерева, а также на протяжении нескольких лет происходят процессы гниения сгоревшей древесины, также сопровождаемые выделением  $\text{CO}_2$ . На рисунке 2 представлены данные о поражении лесов регионов страны пожарами за период 2013-2022 годов.

Несколько меньший объем леса гибнет от вспышек болезней, вызываемых насекомыми-вредителями, грибами или нематодами. Также имеется и постоянный прирост лесных масс за счет искусственного (высадка саженцев на местах вырубленных лесов) или естественного (содействие путем оставления подроста и минерализации почв) лесовосстановления. По статистическим данным лесной фонд России ежегодно прирастает: при естественном приросте в 871 миллион  $\text{м}^3$  расчетная лесосека составляет 730 миллионов  $\text{м}^3$ , а реальная (с учетом незаконных рубок) – до 250 миллионов  $\text{м}^3$  [5]. При таких условиях можно предположить, что нашей стране не грозит проблема обезлесения, однако на практике дело обстоит не вполне так.

Рассмотрим подробнее этапы образования парниковых газов в промышленных процессах лесопромышлен-

ного комплекса. 1. Заготовка древесины. На всех этапах лесозаготовки практически единственным источником прямых выбросов  $\text{CO}_2$  является сгорание углеводородного топлива (на основе нефтепродуктов) – бензина, дизельного топлива. 2. Транспортировка древесины. Образование  $\text{CO}_2$  здесь так же связано со сжиганием углеводородного топлива. 3. Механическая переработка древесины. Производство осуществляется на специализированном оборудовании, использующим для питания электроэнергию. Выбросы  $\text{CO}_2$ , экологичность определяются источником электроэнергии. 4. Целлюлозно-бумажное производство и лесохимия. Помимо электроэнергии вредными факторами здесь выступают негативные воздействия на окружающую среду. Опосредованно к величине углеродного следа можно добавить выбросы, образующиеся при производстве машин и оборудования для данных направлений.

К каждому из перечисленных этапов следует добавить не прямые источники карбонизации атмосферы: производство машин и оборудования для нужд промышленности, производство химических компонентов, сжигание топлива (углеводородного или древесного) для обеспечения предприятий паром и теплом, работа транспортных средств внутри промышленных площадок, а также перевозка персонала предприятий к местам

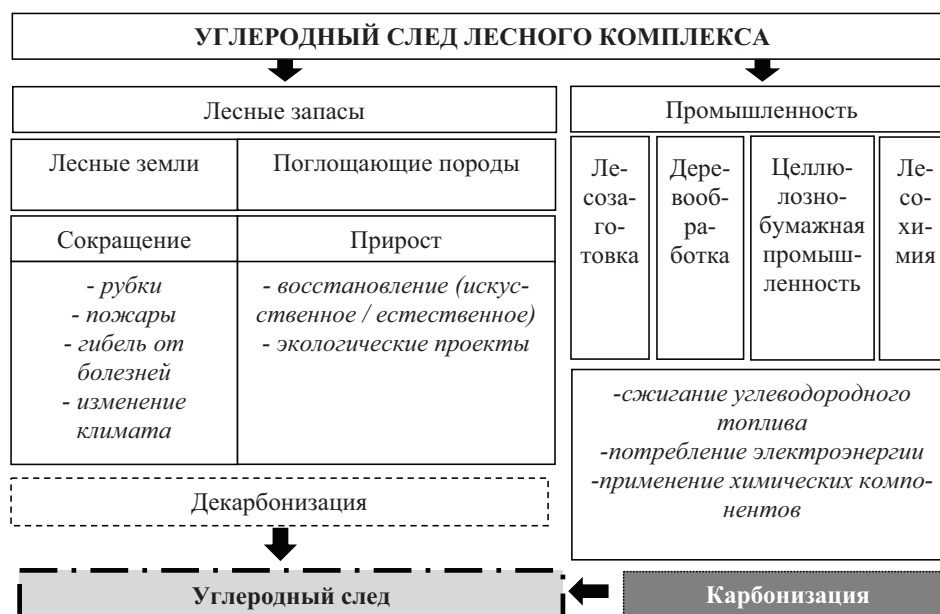


Рис. 3. Схема образования углеродного следа от деятельности ЛПК  
[Fig. 3. Scheme of carbon footprint formation from timber industry activities]



Рис. 4. Модель декарбонизирующей деятельности предприятий ЛПК  
[Fig. 4. Model of decarbonization activities of timber industry enterprises]

работы. При неограниченном количестве таких факторов не представляется возможным произвести точные расчеты углеродного следа от деятельности лесопромышленного комплекса. На рисунке 3 приведена схема образования углеродного следа от деятельности ЛПК.

На основе проведенного исследования авторами предложена модель последовательного снижения углеродного следа от деятельности предприятий, задействованных в лесопромышленном комплексе (рис. 4). Авторами выделено пять основных блоков, в рамках которых предприятия ЛПК могут производить деятельность декарбонирующей направленности: лесное хозяйство, технологические процессы, энергетика, экономика и современное общество.

Представленные блоки модели взаимосвязаны: для того, чтобы получить результаты в одной области, необходимо производить преобразования в других. Однако очень наглядны в модели проблемы выбора источников энергии и перспективы использования производственных отходов для покрытия собственных энергетических нужд предприятия.

В частности, в рамках декарбонизации в блоке «Лесное хозяйство» выделены: пожарная охрана лесов и лесоводство. Пожарная охрана лесов должна быть совместной задачей государства (как собственника лесов) и промышленности (как пользователя лесного фонда). В рамках борьбы с повышением парниковых выбросов лесопользователь может делать выбор в пользу выборочной рубки с сохранением подроста, а также пород, не представляющих хозяйственной ценности для переработки (например, осина). Также важным вопросом является уборка порубочных остатков с мест заготовки: оставленные на земле части древесины гниют в течение нескольких лет, выделяя в атмосферу  $\text{CO}_2$ , а также создают благоприятную среду для развития вредных организмов (вредителей леса).

Технологические процессы, условно разделенные на три группы, являются основой производства в отрасли. Они являются ключевыми в образовании парниковых газов. Важным аспектом в рамках проводимого исследования является использование принципов рециклинга – вовлечения растительных отходов в производственные процессы. Это приводит, с одной стороны, к возможностям выпуска побочной продукции и диверсификации производства, а с другой стороны, открывает практически бесконечную перспективу использования древесной биомассы в качестве биотоплива. Решение логистических задач ведет к сокращению объемов сжигания топлива и времени хранения сырья до времени его переработки. Важно еще раз подчеркнуть, что наибольший объем парниковых выбросов в процессе производства продукции лесного комплекса происходит вследствие потребления электроэнергии (точнее, в ходе добычи этой электроэнергии). Поэтому главным направлением на пути снижения выбросов  $\text{CO}_2$  в модели определен поиск чистых источников энергии.

Энергетика – это один из центральных блоков данного исследования. Именно от выбора источников энергии зависит объем углеродного следа предприятия и отрасли в целом. В разработанной модели энергетика связывает практически все остальные блоки: переход на чистые источники энергии сулит предприятию как экономические, так и социальные выгоды.

Экономика является как причиной, так и следствием всех преобразований, которые стремится произвести человек в ходе хозяйственной деятельности. Она также неразрывно связана с остальными блоками модели.

Последний блок, без которого невозможно построить модель современного предприятия, должен учитывать общественные запросы. Целенаправленная деятельность по снижению углеродного следа, безусловно, сформирует имидж «зеленой» компании в глазах общественности. Также в данном направлении возможны проекты использования отходов деревообрабатывающей промышленности в качестве биотоплива для социально значимых объектов (например, в сфере ЖКХ).

Отдельно в рамках проведенного исследования следует выделить повышение внимания общества к тематике устойчивого развития. Это собирательный образ, включающий прирост внимания к проблематике качества окружающей среды, социальной ответственности бизнеса, общим перспективам в жизни будущих поколений. Важно отметить, что происходящие перемены в обществе влияют на все другие отмеченные сферы: экономику, энергетику, технологические процессы и лесное хозяйство. Спектр и размеры влияния различны. В отдельных случаях происходит непосредственное воздействие (например, переход на более чистые технологии вследствие общественного запроса и протестов), в других – чрез различные механизмы косвенного характера (например, изменения в государственной политике в части лесного хозяйства как элемент реализации концепции устойчивого развития).

Проведенное исследование вскрывает важнейшую функцию лесопромышленного комплекса в рамках вопроса углеродного следа человека: поддерживать декарбонирующую способность лесных насаждений. С одной стороны, путем природоохранных мероприятий (лесоохранных, лесовосстановительных, пожароохранных), с другой стороны, путем наивысшей степени эффективности использования древесного сырья.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования получены следующие результаты.

1. Выявлены отдельные особенности выделения парниковых газов в процессе деятельности предприятий лесной промышленности России. 2. Определены соотношения площади лесов с общей площадью субъектов страны. Распределение лесов по стране крайне неравномерно, что дополняется различиями в поглощающей способности различных лесных насаждений.



3. Представлена схема образования углеродного следа от деятельности ЛПК. 4. Разработана модель декарбонирующей деятельности предприятий ЛПК. Важнейшим аспектом реализации модели является комплексная работа во всех выделенных направлениях. 5. Определено, что одним из важнейших аспектов в направлении снижения углеродного следа в ближайшей перспективе станет повышение внимания общества к тематике устойчивого развития.

Исходя из проведенной работы и представленной модели, ключевыми в деятельности по снижению углеродного следа будут выступать регионы с трансформирующейся в направлении устойчивого развития лесной промышленностью (отраслью).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буданова М.В. Повышение конкурентоспособности предприятия лесопромышленного комплекса РФ за счет добровольной лесной сертификации // *Проблемы современной экономики*, 2018, № 1 (65), с. 109-112

2. ЕМИСС (единая межведомственная информационно-статистическая система). – URL: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения: 01.03.2024). – Текст: электронный.

3. *Леса России и изменение климата.* / П. Лескинен, М. Линднер, П.Й. Веркерк, Г.Я. Набуурс, Ван Брусселен Й., Е. Куликова, М. Хассегава, Леринк Б. (ред.) // *Что нам может сказать наука 11. Европейский институт леса*, 2020.

4. Тулупов А.С. Экологическая политика России: стратегические направления развития // *Проблемы рыночной экономики*, 2023, № 4, с. 74-84

5. Ярошенко А. Сколько лесов в России? – URL: <https://earthtouches.me/articles/2023/11/02/skolko-lesov-v-rossii> (дата обращения: 01.03.2024). – Текст: электронный.

6. *World Population Review.* – URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/carbon-footprint-by-country> (дата обращения: 01.03.2024). – Текст: электронный.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 08.04.2024

Принята к публикации: 02.06.2025

UDC 502.3

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/170-176>

ISSN 1609-0683

## The Model for Reducing the Carbon Footprint of the Forest Industry Enterprises

M. O. Yakusheva, S. O. Medvedev ✉

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation  
(31, Krasnoyarsky Rabochiy Newspaper Ave., 660037)*

**Abstract.** The purpose is to study the peculiarities of greenhouse gas emissions in the process of activity of enterprises of the Russian forest industry, as well as modeling the processes that contribute to their reduction.

**Materials and methods.** The research is based on domestic and foreign research, as well as its own developments. Statistical information is used from the EMISS. Data processing was performed in MS Office Excel and Statistica.

**Results and discussion.** The study revealed that the forestry industry is a unique subject in the issue of atmospheric carbonation. An analysis of all the components of production processes in the timber industry has made it possible to identify the main sources of greenhouse emissions, as well as possible ways to reduce them. The conceptual model of decarbonizing activity of timber industry complex enterprises has been developed.

**Conclusion.** The decarbonizing effect of forest plantations in Russia completely covers the volume of greenhouse emissions from the activities of the timber industry complex. However, even the current size of the carbon footprint needs to be reduced. For this, the Russian timber industry has all the necessary prerequisites, and the level of development of modern technologies and trends in the energy sector correspond to the growing public demand for reducing the carbon footprint.

**Key words:** carbon footprint, decarbonization, forest resources, clean energy.

**Funding:** The research was carried out at the expense of the Russian Science Foundation grant No. 22-78-10002, <https://rscf.ru/en/project/22-78-10002/>.

**For citation:** Yakusheva M. O., Medvedev S. O. The Model for Reducing the Carbon Footprint of the Forest Industry Enterprises. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografia. Geoekologia*, 2025, no. 2, pp. 170-176. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/170-176>

© Yakusheva M. O., Medvedev S. O., 2025

✉ Sergey O. Medvedev, e-mail: [medvedev\\_serega@mail.ru](mailto:medvedev_serega@mail.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

#### REFERENCES

1. Budanova M.V. Povyshenie konkurentosposobnosti predpriyatiya lesopromyshlennogo kompleksa RF za schet dobvol'noy lesnoy sertifikatsii [Improving the competitiveness of enterprises of the timber industry complex of the Russian Federation through voluntary forest certification]. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 2018, no. 1 (65), pp. 109-112. (In Russ.)
  2. EMISS (edinaya mezhdomestvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema) – URL: <https://www.fedstat.ru/> (accessed 01.03.2024). – Text: electronic. (In Russ.)
  3. Lesa Rossii i izmenenie klimata [Forests of Russia and climate change] / P. Leskinen, M. Lindner, P.Y. Verkerk, G.Ya. Nabuurs, Van Brusselen Y., E. Kulikova, M. Khassegava, B. Lerink (red.). *Chto nam mozhet skazat' nauka 11. Evropeyskiy institut lesa*, 2020. (In Russ.)
  4. Tulupov A.S. Ekologicheskaya politika Rossii: strategicheskie na-pravleniya razvitiya [Environmental policy of Russia: strategic directions of development]. *Problemy rynochnoy ekonomiki*, 2023, no. 4, pp. 74-84. (In Russ.)
  5. Yaroshenko A. Skol'ko lesov v Rossii? [How many forests are there in Russia?]. – URL: <https://earthtouches.me/articles/2023/11/02/skolko-lesov-v-rossii> (accessed 01.03.2024). – Text: electronic. (In Russ.)
  6. *World Population Review*. – URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/carbon-footprint-by-country> (accessed 01.03.2024). – Text: electronic. (In Russ.)
- Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.
- Received: 08.04.2024  
Accepted: 02.06.2025
- Якушева Мария Олеговна  
Аспирант Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-2015-8246, e-mail: m\_o\_pozdnyakova@mail.ru
- Медведев Сергей Олегович  
Старший научный сотрудник НИЛ РИЛС Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7459-3150, e-mail: medvedev\_serega@mail.ru
- Mariya O. Yakusheva  
Postgraduate Student of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-2015-8246, e-mail: m\_o\_pozdnyakova@mail.ru
- Sergey O. Medvedev  
Senior Researcher at the Research Laboratory for Rational Use of Forest Resources of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7459-3150, e-mail: medvedev\_serega@mail.ru