

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ

<https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-4-4>

УДК 338.28

Е. А. Ваганов^{а)}, Б. Н. Порфирьев^{б)}, А. А. Широ^{в)}, А. Ю. Колпаков^{з)}, А. И. Пыжев^{д)}^{а, д)} Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация^{б, в, г)} Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, г. Москва, Российская Федерация^{а)} <https://orcid.org/0000-0001-9168-1152>^{б)} <https://orcid.org/0000-0001-8515-3257>^{в)} <https://orcid.org/0000-0003-0806-9777>^{г)} <https://orcid.org/0000-0003-4812-4582>^{д)} <https://orcid.org/0000-0001-7909-3227>, e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru

Оценка вклада российских лесов в снижение рисков климатических изменений¹

Проблемы декарбонизации экономики в последние годы прочно вошли в глобальную общественно-политическую повестку и, по всей видимости, будут определять приоритеты. Развитие экономики России с низким уровнем выбросов парниковых газов потребует не только снижения антропогенной эмиссии, но и максимального использования потенциала поглощения углерода национальными лесами. В статье показано, что лесные экосистемы на территории России обеспечивают условную компенсацию более четверти (почти 27 %) антропогенной эмиссии парниковых газов. Между тем, отсутствие в России — в отличие от ведущих стран мира — надежной, проверенной временем системы инвентаризации лесов является существенным фактором, сдерживающим развитие устойчивого использования лесных ресурсов и обеспечение полноценного учета поглощения парниковых газов лесами. Проанализированы системные меры, способствующие существенному увеличению поглощающей способности российских лесов как ключевого элемента механизма компенсации промышленной эмиссии парниковых газов и признанию мировым экспертным сообществом вклада этих лесов в решение глобальной проблемы изменений климата. Дается экономическая оценка потенциальных выгод от наращивания углерод-поглощающей способности лесов на региональном уровне. На примере Иркутской области рассчитан эффект от мер по увеличению поглощающей способности лесов, который может составить 6–7 долл/га при текущей биржевой цене квоты на выбросы углерода, что при полной реализации на территории региона может приносить до 480 млн долл. США ежегодно без учета понесенных затрат. Предлагается обеспечить необходимые качество и полноту данных Государственного лесного реестра на основе интеграции дистанционных и наземных полевых измерений и существенно усилить институциональную и инвестиционную поддержку государственных инициатив в области сохранения лесов, в том числе в рамках реализации национального проекта «Экология» и лесоклиматических проектов на основе государственно-частного партнерства. Указанные меры должны стать неотъемлемой частью реформы государственной политики в сфере управления лесным хозяйством.

Ключевые слова: экономика климатических изменений, климатические риски, климатическое регулирование, леса, лесные экосистемы, сектор ЗИЗЛХ, углерод-поглощающая способность, парниковые газы, Парижское соглашение по климату, национальная климатическая политика

Благодарность

Статья подготовлена по результатам исследования, проводимого при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования России в рамках крупного научного проекта «Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий», Соглашение № 075–15–2020–804 от 02.10.2020 г. (грант № 13.1902.21.0016).

Для цитирования: Ваганов Е. А., Порфирьев Б. Н., Широ А. А., Колпаков А. Ю., Пыжев А. И. Оценка вклада российских лесов в снижение рисков климатических изменений // Экономика региона. 2021. Т. 17, вып. 4. С. 1096–1109. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-4-4>.

¹ © Ваганов Е. А., Порфирьев Б. Н., Широ А. А., Колпаков А. Ю., Пыжев А. И. Текст. 2021.

RESEARCH ARTICLE

Eugene A. Vaganov ^{a)}, Boris N. Porfiryev ^{b)}, Alexander A. Shirov ^{c)}, Andrey Yu. Kolpakov ^{d)}, Anton I. Pyzhev ^{e)}^{a, e)} Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation^{b, c, d)} Institute of Economic Forecasting of RAS, Moscow, Russian Federation^{a)} <https://orcid.org/0000-0001-9168-1152>^{b)} <https://orcid.org/0000-0001-8515-3257>^{c)} <https://orcid.org/0000-0003-0806-9777>^{d)} <https://orcid.org/0000-0003-4812-4582>^{e)} <https://orcid.org/0000-0001-7909-3227>, e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru

Assessment of the Contribution of Russian Forests to Climate Change Mitigation

Recent inclusion of the issue of economy decarbonization in the global agenda has been affecting social and political priorities. To lower greenhouse gas emissions, Russian economy has to reduce anthropogenic emissions and maximise the carbon sequestration potential of national forests. The paper demonstrates that Russian forest ecosystems compensate for more than a quarter (almost 27 %) of anthropogenic emissions. However, due to the absence of a reliable, time-tested forest inventory system in Russia, as opposed to leading countries, it is difficult to ensure the sustainable use of forest resources and full accounting of greenhouse gas absorption by forests. The research analyses systemic measures to improve the absorptive capacity of Russian forests as a key element of the mechanism for compensating industrial greenhouse gas emissions, since the global expert community should recognise the contribution of these forests to the global climate change mitigation. Potential economic benefits of increasing the carbon-absorbing capacity of forests are assessed at the regional level. The example of Irkutsk oblast shows that the calculated effect of the analysed measures can amount to 6–7 dollars/ha at the current price of carbon credits; full implementation of these measures in the region can bring up to 480 million US dollars annually, net of expenses. The research proposes to ensure the necessary quality and completeness of data of the State Forest Registry by integrating remote and ground-based field measurements. It is also suggested to enhance institutional and investment support to state forest conservation initiatives, including in the framework of the National Project “Ecology” and forest-climate projects based on public-private partnerships. These measures should be included in the reform of public policy in the field of forest management.

Keywords: economics of climate change, climate risks, climate regulation, forests, forest ecosystems, LULUCF sector, carbon sequestration capacity, greenhouse gas, Paris Climate Agreement, national climate policy

Acknowledgment

The article has been prepared with the financial support of the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of Russia in the framework of a large-scale research project «Socio-Economic Development of Asian Russia on the Basis of Synergy of Transport Accessibility, System Knowledge of the Natural Resource Potential, Expanding Space of Inter-Regional Interactions», Agreement No. 075–15–2020–804 dated 02.10.2020 (grant No. 13.1902.21.0016).

For citation: Vaganov, E. A., Porfiryev, B. N., Shirov, A. A., Kolpakov, A. Yu. & Pyzhev, A. I. (2021). Assessment of the Contribution of Russian Forests to Climate Change Mitigation. *Ekonomika regiona* [Economy of regions], 17(4), 1096–1109, <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-4-4>.

Введение

С учетом возрастающей значимости климатической повестки, в том числе реализации обязательств России в рамках Парижского соглашения, обеспечение корректного учета бюджета углерода, который складывается из антропогенной эмиссии и поглощения углерода естественными экосистемами и техническими средствами, из актуальной задачи превращается в императив формирования национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития, предусматривающей, в частности, значительное снижение уровня нетто-эмиссий парниковых газов.

Важнейшую роль в депонировании углерода играют растительные сообщества, прежде всего

леса, которые для обеспечения роста своей фитомассы поглощают 11 млрд т углекислого газа в питательные вещества и кислород, удаляя из атмосферы и депонируя объем CO₂, эквивалентный 27 % его антропогенных эмиссий [1], и выполняя таким образом функцию одного из основных регуляторов углеродного баланса Земли. В числе ключевых элементов глобального бюджета углерода — бореальные лесные экосистемы, в которых накоплена примерно треть мировых запасов углерода (997 ± 84 трлн т CO₂-эквивалента по оценке [2]). Кроме того, эти леса не испытывают эффекта интенсивного сведения в результате хищнического хозяйственного освоения, в отличие от тропических лесов, темпы вырубки которых нарастают [3].

По официальным данным, на территории России расположены 815 млн га лесов, что составляет 20 % от всей мировой лесопокрытой площади земель. Вместе с Бразилией (497 млн га), Канадой (347 млн га), США (310 млн га) и Китаем (220 млн га) наша страна возглавляет пул государств, сосредоточивающих более половины мировой площади лесных ресурсов¹. На леса России также приходится 38 % общего запаса углерода бореальных лесных экосистем мира. Все это составляет важнейшее естественное преимущество экономики России в ее конкуренции с другими странами при переходе мирового хозяйства к зеленой модели развития, в том числе за счет реализации мер по снижению нетто-выбросов парниковых газов, включая поглощение углерода лесными экосистемами.

Помимо регулятора углеродного баланса на глобальном уровне, исключительно важна роль российских лесов как неотъемлемой части механизма формирования локальных климатических условий за счет регулирования круговоротов воды и тепла. Многочисленные исследования показывают, что вклад лесов в поддержание устойчивости экосистем незаменим в части предотвращения наводнений и эрозии почв, поддержания биоразнообразия, обеспечения доступности пресной воды для биоты и других эффектов [4, 5].

При этом — как это подразумевает гипотеза настоящей статьи — огромные масштабы и разнообразие российских лесных массивов, обуславливающие их значительный вклад и потенциал по смягчению глобальной проблемы климатических изменений и их последствий, ускорению процессов декарбонизации экономики России и ее перехода на траекторию устойчивого развития, сами по себе не означают автоматической реализации этого уникального потенциала, его трансформации в повышение устойчивости и конкурентоспособности отечественной экономики. Требуется качественное усиление институциональной и инвестиционной поддержки государственных инициатив в области сохранения лесов, в том числе в рамках реализации национального проекта «Экология» и лесоклиматических проектов на основе государственно-частного партнерства. Обоснованность указанной гипотезы и предлагаемых решений призваны научно аргументировать представленные далее авторами аналитические оценки и эмпириче-

ские данные (некоторые из которых введены в научный оборот впервые), касающиеся международных сопоставлений и потенциальных эффектов использования углерод-поглощающего потенциала российских лесов.

Инвентаризация как основа знаний и оценки экосистемных услуг лесов

Россия располагает богатым опытом проведения лесоинвентаризационных работ, восходящим к началу XIX в. [7, 8]. Обширность территории страны и практическая недоступность большей части лесных ресурсов привели к интенсивному развитию и внедрению в практику лесной инвентаризации статистических методов, которые позволяют строить сети пробных площадей таким образом, чтобы обеспечить приемлемую степень репрезентативности. Такие работы были впервые проведены еще в середине 1920-х гг. на территории Ленинградской области (тогда — Санкт-Петербургской губернии), Карелии и Кольского полуострова, однако даже в советские годы они так и не привели к формированию соответствующей государственной системы, постоянно действующей на всей территории СССР.

В тех условиях государственный учет лесов велся на основании данных межевания земель (земельных кадастров) и соответствующей общей оценки категорий земельных угодий и их пригодности для ведения хозяйственной деятельности. Эти данные до 2008 г. формировали Государственный учет лесного фонда (ГУЛФ), после 2008 г. — Государственный лесной реестр (ГЛР). Данные ГЛР (ГУЛФ) не раз подвергались критике за несоответствие фактическому состоянию лесов, прежде всего из-за низкой степени актуальности проводимых измерений [8]. Так, в 2007 г. доля участков, данные по которым были получены более 20 лет назад, составляла 14 %, а к 2018 г. она выросла до 58,5 % — наглядное свидетельство устарелости информации ГЛР, который по этой причине не может служить источником достоверных сведений о нынешнем состоянии российских лесов [9].

Поскольку постоянно действующая государственная система инвентаризации лесов, аналогичная действующим в других странах, в России так и не сложилась, в 2006 г. с принятием нового Лесного кодекса был дан старт проекту Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ). В рамках первого цикла проекта, завершенного в конце 2020 г.², заложено более

¹ ФАО. 2020. Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 года. Основные выводы. Рим. 16 с.

² По оценке А. Н. Филипчука, высказанной им на научных дебатах Научного совета по лесу РАН (04.03.2021), полно-

69 тыс. постоянных пробных площадей на всей территории России. Учитывая отмеченные особенности проекта, давать оценку его результативности явно преждевременно; тем не менее, несмотря на это и на активно обсуждаемые методические недостатки данного проекта, не вызывает сомнений его значимость для существенного уточнения данных ГЛР.

Методики оценки вклада лесов в поглощение и депонирование углерода

В соответствии с Рамочной Конвенцией ООН об изменении климата (РКИК) и Киотским протоколом к ней, стороны, относящиеся к Приложению I¹, ежегодно готовят Национальные доклады о кадастре, содержащие раздел о выбросах и стоках парниковых газов в результате антропогенной деятельности в рамках сектора «Землепользование, изменение в землепользовании и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ)². Оценки, содержащиеся в указанном разделе национальных докладов, являются основой для определения национальных вкладов в решение проблем глобального потепления в соответствии с Парижским соглашением по климату 2015 г.³

Опыт зарубежных стран. Методические свободы, которые заложены в требованиях Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), приводят к существенным различиям в деталях подходов, которые используются для оценок бюджета углерода лесов. Эти различия представляются вполне приемлемыми, учитывая возможность получения систематической официальной информации о динамике глобального бюджета углерода лесов. Каждая страна ежегодно представляет в секретариат РКИК ООН единые формы наблюдений, осуществляемых в целом по сопоставимой методологии, представляя результаты расчетов экспертам МГЭИК. Таким образом, формируется, вероятно, луч-

шая из практически осуществимых систем мониторинга парниковых газов.

Отдельно отметим, что крупнейший мировой эмитент парниковых газов — Китай, не являясь стороной Приложения I РКИК, избавлен от необходимости ежегодной отчетности, поэтому публикует лишь оценки эмиссии, не предоставляя официальный национальный доклад. Многочисленные опубликованные оценки бюджета углерода лесов по отдельным провинциям и уездам Китая носят академический характер и не могут быть полноценно сопоставлены с отчетностью других стран перед секретариатом РКИК ООН.

Опыт России. В нашей стране организацией, ответственной за формирование и предоставление отчетности в РКИК по парниковым газам, является Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля (ИГКЭ). Для определения динамики поглощения парниковых газов сектором землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) им используется методика оценки бюджета углерода лесов РОБУЛ, разработанная в Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН) [10]. Согласно этим оценкам, сектор ЗИЗЛХ в России в 2018 г. (последние официальные данные) обеспечил поглощение парниковых газов в объеме 590,6 млн т CO₂-эквивалента, что составило почти 27 % от объема антропогенной эмиссии парниковых газов в стране (табл. 1).

Обращает на себя внимание, что оценка по РОБУЛ (590,6 млн т) является минимальной из известных оценок объема поглощения углерода (парниковых газов) лесами и в целом вклада в этот процесс сектора ЗИЗЛХ. Другая методика, разработанная во Всероссийском научно-исследовательском институте лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ), как и РОБУЛ, в качестве информационной базы расчетов использует данные ГЛР, однако существенно отличается в способах расчетов [10, 11, 14].

Что касается других указанных в таблице 1 методик, включая разработанные в рамках коллабораций европейских научных организаций на основе многометодного моделирования с использованием открытых или собранных в результате полевых исследований данных, то основанные на них оценки объема поглощения углерода (парниковых газов) лесами ближе к оценке ВНИИЛМ (около 2 млрд т CO₂-эквивалента). Хотя эти оценки не могут рассматриваться в качестве формальной альтернативы национальной отчетности по пар-

ценная обработка полученных данных и подготовка аналитического доклада по результатам ГИЛ завершится к концу 2021 г.

¹ В список были включены развитые страны — члены ОЭСР по состоянию на 1992 г., а также страны с переходной экономикой: Россия, страны Балтии и ряд стран Центральной и Восточной Европы.

² Национальные доклады о кадастре после соответствующей верификации публикуются на официальном сайте РКИК ООН.

³ Парижское соглашение. Организация Объединенных Наций. Принято 12 декабря 2015 года. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf (дата обращения: 23.02.2021).

Таблица 1

Оценки текущей способности лесов России по поглощению и депонированию углерода (парниковых газов)

Table 1

Estimates of the current capacity of Russia's forests to absorb and sequester carbon (greenhouse gases)

Название методики, разработчик	Официальное применение	Особенности методики	Оценка объема поглощения, млн т CO ₂ -экв. в год
РОБУЛ [10] ИГКЭ Росгидромета и РАН, ЦЭПЛ РАН	Национальный кадастр антропогенных выбросов и абсорбции парниковых газов (подается в МГЭИК). Методика определения объема поглощения парниковых газов Минприроды России	Сток углерода в фитомассу (биомассу живых растений лесной экосистемы) оценивается через разницу запасов древостоев последовательных групп возраста (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные насаждения)	674 (CO ₂ на лесных землях); 590,6 (все газы, весь сектор ЗИЗЛХ)
ВНИИЛМ [11]	Результаты используются в том числе для формирования отчетности России для Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO)	Сток углерода в фитомассу оценивается через вычисление среднего прироста древостоев, то есть путем деления суммарного запаса живой и мертвой фитомассы по группам возраста на средний возраст древостоев	1906,3
Интегральная земельная информационная система (ИЗИС) [12] (IASA, Австрия)	—	Многometодные оценки на основе синтеза всех имеющихся источников информации (ГЛР, спутниковые и метеорологические данные) и перекрестной проверки результатов	2002 ± 440
Международный коллектив авторов [13]	—	Многometодные оценки: модели DGVM, метод турбулентных пульсаций, обратные модели, ландшафтно-экосистемные оценки	2537

никовым газам, они могут служить важным ориентиром для уточнения официальных оценок.

Важно отметить, что в любом случае уточнение вклада лесов и сектора ЗИЗЛХ в целом должно осуществляться на строго научной основе — не может считаться правомерным подход, преследующий цель максимизации указанного вклада ради облегчения «любой ценой» бремени климатически обусловленных затрат для отечественной экономики. Такой подход неприемлем ни с научной, ни с практической — имея в виду признание упомянутого результата международным научно-экспертным сообществом — точек зрения. При этом российская ситуация с существенно различающимися между собой оценками углеродного бюджета лесов (или, шире, наземных экосистем) отнюдь не уникальна. Ощутимые расхождения в аналогичных оценках характерны и для других стран (ср. [6]), что обусловлено размерностью решаемой задачи, высокой стоимостью организации системы мониторинга и необходимостью длительного периода наблюдений для получения надежных результатов.

Негативной особенностью российской ситуации является ключевая роль в таком расхождении низкого качества исходной информационной базы, прежде всего данных ГЛР, которые, как упоминалось выше, несмотря на свой официальный статус, не могут быть сегодня признаны источником актуальной информации о состоянии экосистем российских лесов и, как следствие, служить адекватной базой для расчетов углеродного бюджета. Уточнение данных ГЛР с помощью других официальных государственных источников информации позволит, по всей видимости, снять эту проблему. Например, предварительные оценки для отдельных регионов показывают, что с учетом коррекции данных ГЛР на основе информации Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), углерод-поглощающая способность лесов увеличивается на 30 % относительно текущих уровней [15].

Важнейшая роль в уточнении оценок бюджета углерода лесных и других наземных экосистем принадлежит космическим исследованиям, основанным на методах дистанционного зондирования Земли. Согласно действующим

щим международным правовым нормам, сами по себе данные космических снимков не могут использоваться как основа государственной оценки лесов. Однако их можно успешно применять для уточнения динамики углеродного цикла в лесах и самих лесных массивов в районах экспериментальных карбоновых полигонов и соответствующих пробных площадок, заложенных, например, в рамках проекта ГИЛ. Пока наблюдается определенный недостаток комплексных продуктов такого рода, которые бы охватывали все национальные лесные территории. Однако осуществляемые в настоящее время коллективом Института космических исследований РАН экспериментальные оценки бюджета углерода российских лесов могут стать базой для дальнейшего проведения подобных работ [16].

Национальная климатическая политика: роль лесов

Леса играют важную роль в мировой динамике парниковых газов, как в их эмиссии, так и — особенно — в поглощении и депонировании содержащегося в них углерода. Согласно новейшим исследованиям, по состоянию на 2020 г. 51 % глобальных выбросов углерода самими лесами и 56 % его поглощения ими же приходится на шесть стран — Бразилию, Канаду, Китай, Демократическую Республику Конго, Россию и США. Леса этих же государств концентрируют 60 % мирового чистого стока углерода (являющегося разностью между его поглощением и эмиссией лесами) [17]. Однако ситуации как между этими странами, так и между типами лесов существенно различаются.

Развитие сельского хозяйства и лесозаготовок привели к утрате в 1990—2015 гг. трети первичных лесов (не затрагиваемых хозяйственной деятельностью в течение последних 140 лет и более). Они являются основой существования уникальных экосистем и оказываемых ими экосистемных услуг — от сохранения биоразнообразия, гидрологического режима, смягчения регионального климата до поглощения парниковых газов, крупнейшим мировым депозитарием которых они являются, тем самым способствуя смягчению последствий изменений глобального климата [18]. Наиболее масштабные потери первичных лесов понесла Европа. Однако велик урон и в Юго-Восточной Азии: Индонезия и Малайзия, где находятся самые большие массивы первичных лесов региона, потеряли более их трети. О масштабах последствий по-

тери первичных лесов в мире в терминах снижения потенциала поглощения парниковых газов можно судить по оценке экспертов Global Forest Watch на 2019 г., где указанные потери были эквивалентны выбросам 1,8 млрд т CO_2 -экв. — столько производят 400 млн легковых автомобилей, или 3/4 их европейского парка¹.

Что касается тропических лесов, по оценке специалистов Института мировых ресурсов (World Resources Institute), такие леса в бассейне р. Конго поглощают на 600 млн т углерода в год больше, чем выделяют (что эквивалентно примерно трети выбросов парниковых газов дорожным транспортом США). Сложнее ситуация в тропических лесах бассейна р. Амазонки, оценки которой противоречивы. Масштабные пожары и вырубки для расчистки под пашню и пастбища, прежде всего, в Бразилии, довели эти лесные массивы до критической точки. Так, в 2019 г. площадь сведения лесов в этом регионе составила 3,9 млн га лесов (что, в свою очередь, на 30 % превысило показатель 2015 г., когда значительная часть лесов пострадала от пожаров). В 2020 г. площадь вырубки увеличилась по сравнению с 2019 г. на 10 %. Согласно новейшим оценкам, на основе спутниковых данных, ситуация выглядит хуже: в течение 2010—2019 гг. чистые потери углерода наземной биомассы в бразильской Амазонии составили 0,67 млрд т (прирост 3,78 млрд т минус 4,45 млрд т потерь) [19], или соответственно более 2,4 млрд т, или 240 млн т в среднем в год CO_2 -экв. Тем не менее, тропические леса этого региона пока остаются нетто-поглотителем парниковых газов.

В то же время аналогичные процессы в Юго-Восточной Азии привели к тому, что там тропические леса за последние 20 лет превратились из поглотителя углерода в значительный источник его выбросов — почти 500 млн т CO_2 -экв. в год. В итоге суммарная эмиссия углерода лесами Индонезии, Камбоджи, Лаоса, Малайзии и Мьянмы превышает его поглощение. При этом значительная часть рубок тропических лесов нелегальная: на них приходится 32 из 77 млн га или 40 % вырубленных в 2013–2019 гг. (в том числе 46 млн га, или 61 % — под сельскохозяйственные культуры). Обусловленные ими потери лесов приводят к снижению их поглощающей способности и, соответственно, увеличению нетто-выбросов CO_2 , объем которых суммарно усту-

¹ The world is losing its big old trees // The Economist. 2020. August, 19.

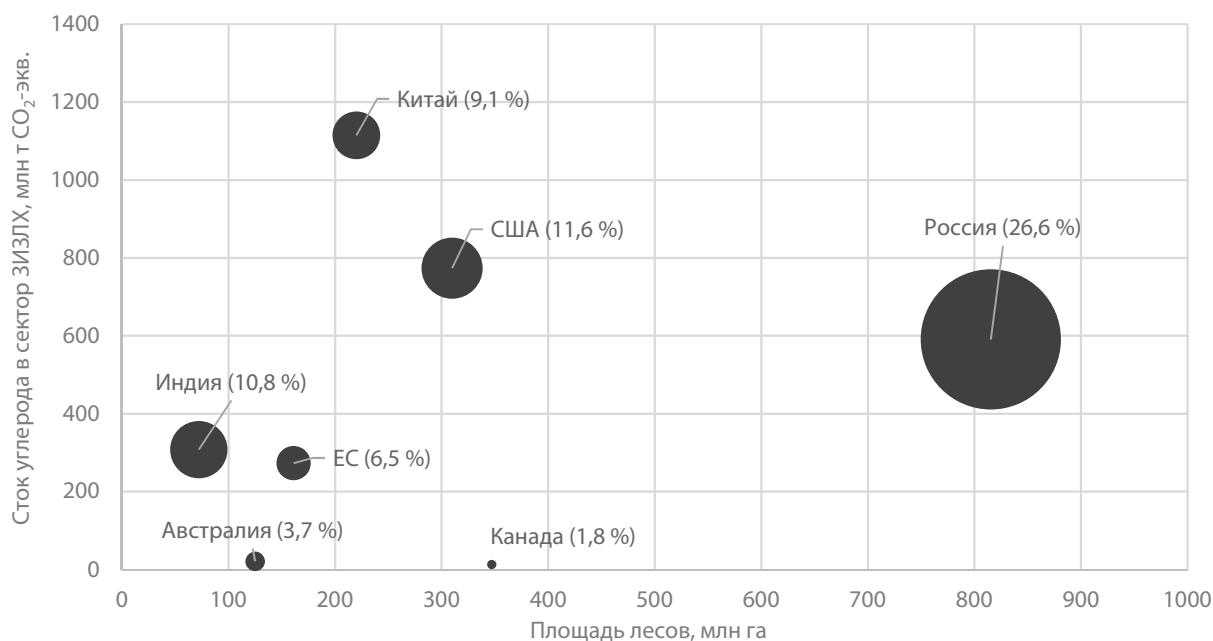


Рис. 1. Объем стока углерода в сектор ЗИЗЛХ в странах с наибольшей лесопокрытой площадью в мире (источник: UNFCCC. Greenhouse Gas Inventory Data — Detailed data by Party. URL: https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party (дата обращения: 12.03.2020))

Fig. 1. Carbon sink to the LULUCF sector in the countries with the world's largest forested area

пает только эмиссиям двух мировых лидеров — Китая и США¹.

С учетом изложенного выше, неудивительно, что на тропические и субтропические леса приходится 30 % стока углерода в эти экосистемы, тогда как большая часть сосредоточена в лесах умеренного пояса (47 %) и тайге (21 %), прежде всего бореальных лесах [17]. Новейшие оценки на основе спутниковых данных показывают, что в Северной Америке в течение 1984–2014 гг. прирост наземной биомассы составил 434 ± 176 млн т углерода, чистые потери углерода при лесозаготовках и лесных пожарах составили 105 ± 49 млн т углерода, что дает совокупный прирост потенциала его поглощения и депонирования от 104 млн до 554 млн т углерода, или соответственно от 375 млн т до 2 млрд т CO₂-экв., то есть, округленно, от 12 до 65 млн т CO₂-экв. в среднем год [6].

В России лесные экосистемы обеспечивают компенсацию более четверти (почти 27 %) антропогенной эмиссии парниковых газов (рис. 1), где диаметр круга соответствует доле вклада сектора ЗИЗЛХ в компенсацию национальной эмиссии парниковых газов (%). Исключены страны, в которых сектор явля-

ется нетто-эмитентом парниковых газов, в том числе: Бразилия, Демократическая Республика Конго, Индонезия и Перу. Например, Бразилия, обладая вторыми после России лесопокрытыми площадями в мире, является примером наиболее высоких темпов обезлесения, вызванных интенсивными рубками, в результате чего сектор ЗИЗЛХ в этой стране является нетто-эмитентом углерода в объеме 291 млн т CO₂-эквивалента (данные 2016 г.). Аналогичный показатель для Индонезии 821,3 млн т (данные 2000 г.), для Перу 86,7 млн т (2012)).

Без учета России поглощающая способность мировых лесов компенсирует лишь около 10 % совокупных выбросов парниковых газов США, Индии и Китая — трех крупнейших их эмиттеров, на которые приходится половина мировых выбросов. В странах ЕС, в Канаде и Австралии, на которые приходится еще примерно 13 % мировых выбросов парниковых газов, этот вклад еще меньше и имеет символический характер. Это означает, что даже существенное увеличение площади лесов и объема поглощения ими углерода в перечисленных выше странах даст достаточную скромную отдачу в итоговом бюджете парниковых газов.

Отдельного внимания заслуживает ситуация с лесами в главном мировом источнике выбросов парниковых газов — Китае, где за 2005–2014 гг. объем поглощения углерода лесами вырос в полтора раза — с 766 до 1150,91 млн т CO₂-экв., благодаря, прежде всего, уве-

¹ Dummett C., Blundell A., Canby K., Wolosin M., Bodnar E. Illicit Harvest — Complicit Goods (The State of Illegal Deforestation for Agriculture). 2021. URL: <https://www.forest-trends.org/publications/illicit-harvest-complicit-goods> (дата обращения: 13.03.2021).

личению их площади за тот же период на 80 % (со 121,9 до 220,5 млн га); при этом запас древесины удвоился (с 86,6 до 175,6 млрд м³). Это стало следствием активной национальной лесной политики последних десятилетий, включая ограничение рубок и стимулирование высоких темпов лесовосстановления и лесоразведения. В первую очередь, за счет ускоренного роста инвестиций в развитие сектора, которые только с 2009 г. по 2013 г. выросли почти в 2,5 раза (со 149,3 млрд юаней до 366 млрд юаней)¹.

Однако одновременно с этим процессом активно развивались промышленный сектор и транспорт, что способствовало росту антропогенных выбросов парниковых газов. За тот же период 2005–2014 гг. они увеличились более чем в полтора раза — с 8,0 до 12,3 млрд т CO₂-экв., на порядок превысив объем их поглощения лесами. В связи с этим, понятно желание руководства Китая значительно ускорить рост поглощающей способности национальных лесов и увеличить масштабы стока в них углерода [6, 20] для облегчения решения амбициозной задачи, озвученной Си Цзиньпином в сентябре 2020 г. в ООН, — стремлению достигнуть нетто-нулевого уровня выбросов CO₂ к 2060 г.

В течение нескольких десятилетий развитие лесной отрасли в России шло по пути экстенсивного наращивания рубок относительно легкодоступных лесов при явно недостаточных усилиях, прежде всего инвестициях, в восстановление и охрану лесов. Следствием этого являются ухудшение качества и повышение уязвимости лесов к вредителям (от которых ежегодно погибают леса на территории более 0,5 млн га) и пожарам, которые становятся все более масштабными. Если в 2016 г. огонь прошел 2,6 млн га лесных массивов, в 2017 г. — 3,2 млн га, в 2018 г. — 7,4 млн га, то в 2019 и 2020 гг. — более 10 млн га², из которых подавляющая часть — в азиатской части России, прежде всего Сибири. Соответственно, снизился потенциал поглощения углерода и увеличились объемы выбросов парниковых газов лесами. По расчетам ученых Института леса им. В.Н. Сукачева Красноярского научного центра СО РАН и их германских коллег, при сгорании 1 кг сухого вещества лесной подстилки во время лесных

пожаров в Сибири в воздух попадает 4 г метана (CH₄), более 100 г угарного (CO) и 1,5 кг углекислого (CO₂) газа. Во время интенсивного горения древесины концентрация указанных парниковых газов по сравнению с фоновым содержанием в воздухе увеличивается соответственно: CH₄ — вдвое, CO — почти в 30 раз и CO₂ — на 8 %. При этом только по оценкам на конец июля 2019 г. объем вредных выбросов в результате лесных пожаров составил 50 млн т CO₂-экв., а потенциал поглощения CO₂ лесами сократился на 12 млн т.

Такая практика — следствие неэффективной лесной политики государства, которая в последние десятилетия отдавала приоритет интересам лесозаготовителей в ущерб комплексному использованию лесных ресурсов и устойчивому лесопользованию в интересах всего общества, тем самым способствуя деградации лесной службы страны и лесобустройства, игнорируя рекомендации лесной науки и систему лесной науки и аналитики в целом³. Последние также деградировали, учитывая многократное сокращение численности научных кадров и объем государственного финансирования лесной науки, которая сегодня фактически требует возрождения. В этих условиях закономерны вышеупомянутые проблемы с учетом и инвентаризацией лесных ресурсов, не говоря уже о надежных верифицируемых оценке и прогнозе выбросов и поглощения ими углерода, необходимых для разработки и реализации долгосрочной (до 2050 г.) стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем эмиссии парниковых газов.

Принятие этой стратегии (проект был разработан Минэкономразвития России в конце 2020 г., но возвращен правительством страны на доработку) ожидался летом 2021 г. Однако если эти сроки и будут соблюдены, она вряд ли сможет в текущем виде стать эффективным инструментом достижения целевых показателей ограничения нетто-эмиссии парниковых газов в России, которые учитывают поглощающую способность российских лесов и не могут быть обоснованы без надежных и качественных оценок и прогноза поглощения углерода лесами. Имеющиеся же прогнозы по указанным причинам ограничены количественно и имеют существенные расхождения (табл. 2).

Так, согласно оценкам авторов проекта Стратегии социально-экономического развития России, с низким уровнем эмиссии пар-

¹ Forest Resources in China. The 9th National Forest Inventory. National Forestry and Grassland Administration. March, 2019. URL: <http://www.china-ecforest.org/wp-content/uploads/2019/08/Forest-Resources-in-China-The-9th-National-Forest-Inventory.pdf> (дата обращения: 12.03.2021).

² Площадь лесов, пройденная пожарами. ЕМИСС. URL: <https://fedstat.ru/indicator/38496> (дата обращения: 12.03.2021).

³ Исаев А.С. Полностью разрушена сама система государственной лесной службы // Лесная газета, 24.10.2015.

Таблица 2

Оценки изменения потенциала российских лесов по поглощению углерода в долгосрочной перспективе
(% за прогнозный период)

Table 2

Estimates of changes in Russian forests' carbon sequestration potential in the long term (% for the projection period)

Прогнозный период (годы)			Факторы изменения динамики	Источник
2010–2030	2010–2035	2010–2050		
от –30 до –52	от –50 до –68	от –65 до –83	Увеличение лесозаготовок	Д. Г. Замолотчиков и соавторы [21]
От –3 до –13	от –20 до –40	от –33 до –60	Увеличение лесозаготовок	Д. Г. Замолотчиков*
н. д.	от –15 до –20	н. д.	Увеличение лесозаготовок, защита от пожаров	А. А. Романовская**
от –57 до –62	н. д.	от –58 до –72	Увеличение лесозаготовок, усиление охраны лесов, сокращение потерь древесины при лесозаготовках, учет заросших лесами заброшенных сельскохозяйственных земель	Проект Стратегии долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года***
От +7 до +10	н. д.	н. д.	Увеличение лесозаготовок, снижение повреждения лесов, наращивание площади лесов	Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года****

* Замолотчиков Д. Г. Прогноз лесоклиматического зонирования и углеродного бюджета российских лесов. Доклад на Российско-европейской конференции по климату. 02.12. 2020. URL: <https://youtu.be/l2QKImFa7KI> (дата обращения 29.03.2020).

** Романовская А. А. Поглощение парниковых газов на управляемых лесах. Лекция в рамках Летней энергетической онлайн-школы. URL: https://youtu.be/Gx_4Br3m0ag (дата обращения 29.03.2020).

*** Проект Стратегии долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (версия от 23 марта 2020 года). Минэкономразвития России. URL: https://economy.gov.ru/material/news/minekonomrazvitiya_rossii_podgotovilo_proekt_strategii_dolgosrochnogo_razvitiya_rossii_s_nizkim_urovнем_vybrosov_parnikovyh_gazov_do_2050_goda_.html (дата обращения 29.03.2020).

**** Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года // Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО). Рим. 2012. 96 с. URL: <http://www.fao.org/3/i3020r/i3020r.pdf> (дата обращения 29.03.2020).

никовых газов, поглощающая углерод способность лесов снизится к середине XXI в. на 58–72 %. Эти оценки опираются на работы известных специалистов ЦЭПЛ РАН, в которых на основе анализа различных сценариев увеличения объема рубок делается вывод о том, что поглощение углерода российскими лесами снизится к 2050 г. на 33–83 % по сравнению с уровнем 2010 г. Согласно другому сценарию, разработанному группой ученых ИГКЭ и учитывающему позитивные изменения в сфере охраны лесов от пожаров, поглощающая способность лесов за 2010–2035 гг. снизится на 15–20 %, что заметно оптимистичнее приведенных выше оценок. В то же время, опираясь на методику оценок запаса углерода в лесных экосистемах (см., например, [22]), ученые ВНИИЛМ прогнозируют увеличение поглощения углерода лесами на 7–10 % к 2030 г.

Указанные расхождения и немногочисленность прогнозов объема и динамики поглощения углерода лесами серьезно затрудняют использование соответствующих оценок для реализации упомянутой стратегии соци-

ально-экономического развития страны, учитывая не только внутрироссийские проблемы, но проблемы их апробации и признания международным научно-экспертным сообществом. Без последнего России трудно рассчитывать на согласование и учет в полной мере потенциала поглощения углерода ее лесами, а также другими природными экосистемами достигающего 2,5 млрд т CO₂-экв.¹

Углерод-поглощающая способность российских лесов: региональный разрез

Огромные масштабы территории страны требуют дифференцированной политики в области управления углерод-поглощающей способностью лесов в зависимости от локальных эколого-экономических условий. Авторами выполнена оценка удельного бюджета углерода по сектору ЗИЗЛХ на 1 га лесопокрываемой площади ежегодно по регионам России

¹ Выступление [Президента России В. В. Путина] на Саммите по вопросам климата. URL: <https://kremlin.ru/events/president/news/65425> (дата обращения: 22 апреля 2021 г.).

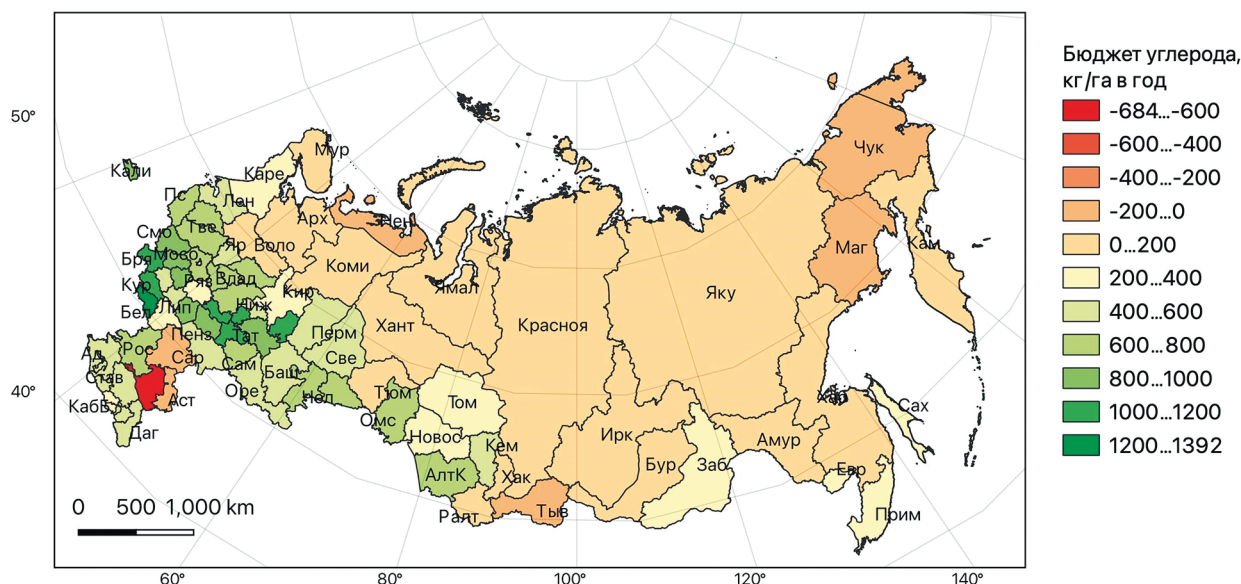


Рис. 2. Пространственное распределение удельного бюджета углерода по сектору ЗИЗЛХ на 1 га лесопокрытой площади ежегодно по регионам России за период 2010—2019 гг. (источник: расчеты авторов на основе данных Рослесхоза и Национального кадастра антропогенных выбросов: Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. 2010–2021. URL: <http://www.igce.ru/2020/04/национальный-кадастр-антропогенных-выбросов/> (дата обращения: 23.05.2021))

Fig. 2. Spatial distribution of carbon budget by LULUCF sector per 1 ha of forest covered area by Russian regions annually in 2010–2019

в среднем за период 2010–2019 гг. (рис. 2). Пространственное распределение данного показателя ожидаемо неоднородно: он существенно выше для относительно малолесных регионов юго-западной части страны (400, ..., 1000 кг/га в год) по сравнению с северными территориями Европейской России, а также регионами Сибири и Дальнего Востока (0, ..., 200 кг/га в год) (рис. 2). Такое различие объясняется как естественными (более высокий среднегодовой прирост древесины в относительно более теплых районах, а также в лиственных лесах), так и антропогенными причинами (существенно меньший объем рубок, относительно низкая интенсивность рукотворных пожаров и т. д.).

Результаты расчета данного показателя можно использовать как основу для оценки предельного макроэкономического эффекта от реализации лесоклиматических инициатив.

Например, в целом сопоставимые по природно-географическим условиям и состоянию лесных ресурсов Иркутская область и Забайкальский край характеризуется статистически значимым различием удельного бюджета углерода лесов: соответственно 185,3 и 303 кг/га ежегодно. Упрощенно приняв потенциал наращивания поглощающей способности лесов Иркутской области на уровне Забайкальского края, получаем, что он может составить 117,7 кг/га. Исходя из цены квоты

на эмиссию тонны углерода в рамках Системы торговли квотами на выбросы парниковых газов Европейского союза (EU-ETS) в 57 долл. США¹, эффект от мер по увеличению поглощающей способности лесов Иркутской области составит порядка 6,7 долл./га. При площади лесов этого региона равной 71,5 млн га и условиях полной реализации данного потенциала, минимизации лесных пожаров и иных рисков это означает потенциальный совокупный доход 479 млн долл. США ежегодно. Подчеркнем, что приведенный расчет дает оценку только выгод, без учета затрат на реализацию соответствующих лесоклиматических проектов.

Заключение

В статье показано, что для эффективного решения проблемы наращивания углерод-поглощающей способности российских лесов требуется, прежде всего, комплексный подход, предусматривающий качественные изменения в организации и эффективности лесного хозяйства страны, которые обеспечивают, с одной стороны, диверсификацию производства и увеличение добавленной стоимости продукции, с другой стороны, радикальное улучшение в области

¹ Europe carbon prices expected to rise to 2030-industry survey // Reuters. 2021. June 14. <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/europe-carbon-prices-expected-rise-2030-industry-survey-2021-06-14/> (дата обращения: 24.06.2021).

учета и сохранения лесных массивов и экосистем в целом, в том числе их биоразнообразия. Проблема деградации лесов должна стать приоритетом в комплексе мер по их сохранению, что необходимо учесть в конкретизирующем недавно принятую Стратегию развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. (утверждена Распоряжением Правительства РФ от 11.02.2021 № 312-р) плане мероприятий, который Минприроды России представит, видимо, во второй половине 2021 г. В частности, в разделе этого плана, связанном с реализацией федерального проекта «Сохранение лесов» (часть национального проекта «Экология»), нужно предусмотреть, чтобы предпринимаемые усилия не сводились исключительно к мерам восстановления лесов, а предусматривали их развитие (новые лесонасаждения), охрану лесов и др. Насколько известно, такие шаги закладываются в экологический блок разрабатываемой сейчас (май 2021 г.) фронтальной стратегии социально-экономического развития, что можно только приветствовать. Еще один наметившийся позитивный сдвиг — включение (по инициативе Рабочей группы Госсовета при Президенте России по вопросам экологии) в критерии эффективности деятельности (KPI) руководителей регионов по показателю «качество окружающей среды» индикатора результативности работ по восстановлению и развитию лесов.

Помимо перечисленных мер по развитию лесного комплекса, сохранению лесов и оказываемых ими экосистемных услуг, включая поддержание и развитие их потенциала по поглощению и снижению нетто-эмиссий CO₂, необходимы серьезные усилия по признанию этого потенциала мировым экспертным сообществом с тем, чтобы на деле обеспечить регистрацию и учет (по сути — зачет) достигнутых Россией результатов по выполнению взятых на себя обязательств в рамках Парижского соглашения по климату. Отечественная наука, в том числе ученые РАН, должны здесь играть ключевую роль. Только на фундаментальной научной основе могут развиваться системы Государственного лесного реестра (ГЛР) — при полномасштабной реализации (завершении) проекта инвентаризации лесов, благодаря которым можно аргументировано обосновать увеличение поглощающей способности российских лесов на 20–30 %, и инструментальных наблюдений, прежде всего, дистанционных и полевых измерений.

Представленные в настоящей статье расчеты и оценки потенциала наращивания

углерод-поглощающей способности лесов в разрезе регионов страны и соответствующие предварительные экономические оценки эффекта от реализации лесоклиматических инициатив авторы рассматривают как предпосылку и одновременно приглашение к дискуссии, а также стимул дальнейших исследований в целях уточнения и расширения представлений о возможных сценариях развития углеродного регулирования.

Ключевая роль науки в признании мировым экспертным сообществом и полноценном учете им потенциала отечественных лесных экосистем по поглощению и снижению нетто-эмиссий CO₂, включая депонирование углерода, не ограничивается сферой разработки и совершенствования соответствующих международных стандартам инструментальных средств и методик оценки состояния лесных экосистем, их способности по поглощению и снижению нетто-эмиссий CO₂. Не меньшее значение имеет взаимодействие отечественных ученых и экспертов со своими зарубежными коллегами, реализующее функцию научной дипломатии и содействующее профессиональной дипломатии, а также специалистам из бизнеса и отраслевых ведомств в обеспечении результативности переговорного процесса.

Для этого важно добиться понимания всеми участниками команды российских переговорщиков и, шире, лицами, принимающими ключевые решения в области национальной климатической политики, того принципиального обстоятельства, что устранить проблему снижения нетто-выбросов парниковых газов и добиться признания этого мировым экспертным сообществом, опираясь исключительно на новые методики учета, статистически увеличивающие площади управляемых лесов, а также на новые лесонасаждения, не получится. Не отрицая полезности усилий по существенному улучшению качества учета самих лесных ресурсов, о необходимости которого шла речь выше, и их пока недооцененной роли в глобальном поглощении парниковых газов, нужно иметь в виду три обстоятельства.

Во-первых, это не снимает автоматически проблему верификации данных и признания «поглощающих» углеродных единиц на международном уровне. Во-вторых, попытка радикального пересмотра фактических и ретроспективных данных о поглощающей способности российских лесов практически наверняка будет встречена негативно зарубежными политиками и значительной частью экспертного сообщества, что может создать для страны

не только репутационные риски, но и риски игнорирования (в лучшем случае недоучета) поглощения CO₂ ее природными экосистемами при оценке углеродного следа продукции в рамках использования конкурентами России механизма трансграничного углеродного регулирования (прогноз — 2023 г.). В-третьих, перспективы продажи Россией своих «поглощающих» углеродных единиц странам, которые будут испытывать сложности с достижением собственных климатических целей, вряд ли стоит рассматривать как радужные. По нашим оценкам, спрос на углеродные единицы, вероятно, будет ограниченным, учитывая, что заявляемые правительствами других стран климатические амбиции (прежде всего, достижение углеродной нейтральности или нулевых нетто-выбросов парниковых газов в обозримом будущем) — это, в первую очередь, экономический инструмент. Его функция — обеспечить масштабный приток инвестиций в технологи-

ческое перевооружение и благодаря этому — структурные сдвиги, ускорение темпов и качества социально-экономического развития, рост конкурентоспособности экономики [23]. С этой точки зрения значимый по объемам импорт углеродных единиц противоречит стратегическим интересам стран-контрагентов.

Поэтому целевая функция реализации «климатической составляющей» комплекса мер по сохранению лесов не должна ограничиваться поддержанием и развитием их потенциала только по поглощению и снижению нетто-эмиссий CO₂, но предусматривать учет и воспроизводство всей гаммы оказываемых ими экосистемных услуг. Это внесет важный вклад в усилия по обеспечению устойчивого развития России и достижению национальных целей, включая улучшение качества жизни населения, структурно-технологическую модернизацию и повышение конкурентоспособности российской экономики.

Список источников

1. *Brahic C.* Loss of biodiversity poses as great a risk to humanity as climate change // *The Economist. Technology Quarterly*. 2021. June, 19. P. 1–2.
2. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests / Pan Y. et al. // *Science*. 2011. Vol. 333. No. 6045. P. 988–993. DOI: doi.org/10.1126/science.1201609.
3. *Онушин А. А.* Лес уходит на север // *В мире науки*. 2020. 12 дек. С. 30–33.
4. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world / Ellison D. et al. // *Global Environmental Change*. 2017. Vol. 43. P. 51–61. DOI: doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002.
5. *Sheil D.* Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle // *Forest Ecosystems*. 2018. Vol. 5. No. 1. P. 19. DOI: doi.org/10.1186/s40663-018-0138-y.
6. *Wang B., Niu X., Wei W.* National Forest Ecosystem Inventory System of China: Methodology and Applications // *Forests*. 2020. Vol. 11. No. 7. P. 732. DOI: doi.org/10.3390/f11070732.
7. *Алексеев А. С.* Статистическая инвентаризация лесов в России и современная государственная инвентаризация лесов // *Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник*. 2013. № 4. С. 122–123.
8. A constructive review of the State Forest Inventory in the Russian Federation / Alekseev A. et al. // *Forest Ecosystems*. 2019. Vol. 6. No. 1. P. 9. DOI: doi.org/10.1186/s40663-019-0165-3.
9. Бореальные леса России. Возможности для смягчения изменения климата / Филипчук А. Н., Малышева Н. В., Золина Т. А., Югов А. Н. // *Лесохозяйственная информация*. 2020. № 1. С. 92–114. DOI: doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10.
10. *Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Краев Г. Н.* Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // *Лесоведение*. 2011. № 6. С. 16–28.
11. Russian forests: A new approach to the assessment of carbon stocks and sequestration capacity / Filipchuk A. et al. // *Environmental Development*. 2018. Vol. 26. P. 68–75. DOI: doi.org/10.1016/j.envdev.2018.03.002.
12. *Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г.* Углеродный бюджет лесов России // *Сибирский лесной журнал*. 2014. № 1. С. 69–92.
13. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods / Dolman A. J. et al. // *Biogeosciences*. 2012. Vol. 9. No. 12. P. 5323–5340. DOI: doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012.
14. Проблема учета поглощающей способности лесов России в Парижском соглашении / Романовская А. А., Трунов А. А., Коротков В. Н., Карабань Р. Т. // *Лесоведение*. 2018. № 5. С. 323–334. DOI: doi.org/10.1134/S0024114818050066.
15. *Filipchuk A. N., Malysheva N. V.* The assessment of the feasibility of using the state forest inventory data to implement the national commitments under the Paris Agreement // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020. Vol. 574. No. 1. P. 012026. DOI: doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012026.
16. *Барталев С. А., Стыценок Ф. В.* Космические исследования лесов // *Земля и вселенная*. 2020. № 6. С. 5–17.
17. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes / Harris N. L. et al. // *Nature Climate Change*. 2021. Vol. 11. P. 234–240. DOI: doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6.

18. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world / McDowell N. G., Allen C. D., Anderson-Teixeira K., Auke-
ma B. H., Bond-Lamberty B. et al. // *Science*. 2020. Vol. 368. No. 6494, eaaz9463. DOI: doi.org/10.1126/science.aaz9463.
19. Carbon loss from forest degradation exceeds that from deforestation in the Brazilian Amazon / Qin Y. et al. // *Nature
Climate Change*. 2021. Vol. 11. P. 442–448. DOI: doi.org/10.1038/s41558-021-01026-5.
20. Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix / Rogelj J. et al. // *Nature*. 2021. Vol. 591. No. 7850. P. 365–368.
DOI: doi.org/10.1038/d41586-021-00662-3.
21. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990–2050 гг. Ретроспективная оценка и про-
гноз / Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Коровин Г. Н., Гитарский М. Л., Блинов В. Г., Дмитриев В. В., Курц В. А.
// *Метеорология и гидрология*. 2013. № 10. С. 73–92.
22. Филипчук А. Н., Малышева Н. В., Моисеев Б. Н., Страхов В. В. Аналитический обзор методик учета выбросов
и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы / Филипчук А. Н., Малышева Н. В., Моисеев Б. Н., Страхов
В. В. // *Лесохозяйственная информация*. 2016. № 3. С. 36–85.
23. Порфирьев Б. Н., Широв А. А., Колпаков А. Ю. Стратегия низкоуглеродного развития. Перспективы для
экономики России // *Мировая экономика и международные отношения*. 2020. Т. 64, № 9. С. 22–33. DOI: doi.
org/10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25.

References

1. Brahic, C. (2021). Loss of biodiversity poses as great a risk to humanity as climate change. *The Economist. Technology
Quarterly*, 19, 1–2.
2. Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... Hayes, D. (2011). A Large and Persistent
Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333(6045), 988–993. DOI: 10.1126/science.1201609.
3. Onuchin, A. A. (2020). The forest goes to the north. *V mire nauki*, 12, 30–33. (In Russ.)
4. Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., ... Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests
and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51–61. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002.
5. Sheil, D. (2018). Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle. *Forest
Ecosystems*, 5(1), 19. DOI: 10.1186/s40663-018-0138-y.
6. Wang, B., Niu, X. & Wei, W. (2020). National Forest Ecosystem Inventory System of China: Methodology and
Applications. *Forests*, 11(7), 732. DOI: 10.3390/f11070732.
7. Alekseev, A. S. (2013). Statistical Forest Inventory in Russia and Modern State Forest Inventory. *Vestnik Moskovskogo
gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoy Vestnik [Forestry Bulletin]*, 4, 122–123. (In Russ.).
8. Alekseev, A., Tomppo, E., McRoberts, R. E. & von Gadow, K. (2019). A constructive review of the State Forest Inventory
in the Russian Federation. *Forest Ecosystems*, 6(1), 9. DOI: 10.1186/s40663-019-0165-3.
9. Filipchuk, A. N., Malysheva, N. V., Zolina, T. A. & Yugov, A. N. (2020). The boreal forest of Russia: opportunities
for the effects of climate change mitigation. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information]*, 1, 92–114. DOI:
10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10. (In Russ.)
10. Zamolodchikov, D. G., Grabovskii, V. I. & Kraev, G. N. (2011). A twenty year retrospective on the forest carbon dy-
namics in Russia. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 6, 16–28. (In Russ.)
11. Filipchuk, A., Moiseev, B., Malysheva, N. & Strakhov, V. (2018). Russian forests: A new approach to the assessment
of carbon stocks and sequestration capacity. *Environmental Development*, 26, 68–75. DOI: 10.1016/j.envdev.2018.03.002.
12. Shvidenko, A. Z. & Shchepashchenko, D. G. (2014). Carbon budget of Russian forests. *Sibirskiy Lesnoy Zhurnal
[Siberian Journal of Forest Science]*, 1, 69–92. (In Russ.)
13. Dolman, A. J., Shvidenko, A., Schepaschenko, D., Ciais, P., Tchebakova, N., Chen, T., ... Schulze, E.-D. (2012).
An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion meth-
ods. *Biogeosciences*, 9(12), 5323–5340. DOI: 10.5194/bg-9-5323-2012.
14. Romanovskaya, A. A., Trunov, A. A., Korotkov, V. N. & Karaban, R. T. (2018). The problem of accounting for car-
bon sequestration ability of Russian forests in Paris Climatic Agreement. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 5,
323–334. DOI: 10.1134/S0024114818050066. (In Russ.)
15. Filipchuk, A. N. & Malysheva, N. V. (2020). The assessment of the feasibility of using the state forest inventory data
to implement the national commitments under the Paris Agreement. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 574(1), 012026.
DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012026.
16. Bartalev, S. A. & Stytsenko, F. V. (2020). Forest from space. *Zemlya I vseennaya [Earth and Universe]*, 6, 5–17. (In
Russ.)
17. Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., Birdsey, R. A., de Bruin, S., Farina, M., ... Tyukavina, A. (2021). Global maps
of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 11, 234–240. DOI: 10.1038/s41558-020-00976-6.
18. McDowell, N. G., Allen, C. D., Anderson-Teixeira, K., Aukema, B. H., Bond-Lamberty, B., Chini L., ... Xu, C. (2020).
Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*, 368(6494), eaaz9463. DOI: 10.1126/science.aaz9463.
19. Qin, Y., Xiao, X., Wigneron, J.-P., Ciais, P., Brandt, M., Fan, L., ... Moore, B. (2021). Carbon loss from forest deg-
radation exceeds that from de-forestation in the Brazilian Amazon. *Nature Climate Change*, 11, 442–448. DOI: 10.1038/
s41558-021-01026-5.
20. Rogelj, J., Geden, O., Cowie, A. & Reisinger, A. (2021). Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix. *Nature*,
591(7850), 365–368. DOI: 10.1038/d41586-021-00662-3.

21. Zamolodchikov, D. G., Grabovskii, V. I., Korovin, G. N., Gitsarskii, M. L., Blinov, V. G., ... Kurz, W. A. (2013). Carbon budget of managed forests in the Russian Federation in 1990–2050: Post-evaluation and forecasting. *Metorologiya i Gidrologiya [Russian Meteorology and Hydrology]*, 10, 73–92. (In Russ.)
22. 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. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya [Forestry Information]*, 3, 36–85. (In Russ.)
23. Porfiriev, B. N., Shirov, A. A. & Kolpakov, A. Yu. (2020). Low-Carbon Development Strategy: Prospects for the Russian Economy. *Mirovaya Ekonomika i Mezhdunarodnye Otnosheniya [World Economy and International Relations]*, 64(9), 22–33. DOI: 10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25. (In Russ.)

Информация об авторах

Ваганов Евгений Александрович — академик РАН, научный руководитель, Сибирский федеральный университет; главный научный сотрудник, Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНИЦ СО РАН; Scopus Author ID: 14624628100; <https://orcid.org/0000-0001-9168-1152> (Российская Федерация, 660041, Красноярск, пр-т Свободный, 79; e-mail: research@sfu-kras.ru).

Порфирьев Борис Николаевич — академик РАН, научный руководитель, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН; Scopus Author ID: 6603270384; <https://orcid.org/0000-0001-8515-3257> (Российская Федерация, 117418, Москва, Нахимовский пр-т, 47; e-mail: b_porfiriev@mail.ru).

Шилов Александр Александрович — член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, директор, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН; Scopus Author ID: 16234922500; <https://orcid.org/0000-0003-0806-9777> (Российская Федерация, 117418, Москва, Нахимовский пр-т, 47; e-mail: schirov-mse@yandex.ru).

Колпаков Андрей Юрьевич — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН; Scopus Author ID: 55039903300; <https://orcid.org/0000-0003-4812-4582> (Российская Федерация, 117418, Москва, Нахимовский пр-т, 47; e-mail: ankolp@gmail.com).

Пыжев Антон Игоревич — кандидат экономических наук, заведующий научно-учебной лабораторией, доцент, Сибирский федеральный университет; старший научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН; Scopus Author ID: 57209504336; <https://orcid.org/0000-0001-7909-3227> (Российская Федерация, 660041, Красноярск, пр-т Свободный, 79; e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru).

About the authors

Eugene A. Vaganov — Member of RAS, Academic Supervisor, Siberian Federal University; Chief Research Associate, V. N. Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of RAS; Scopus Author ID: 14624628100; <https://orcid.org/0000-0001-9168-1152> (49, Svobodnyy Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; e-mail: research@sfu-kras.ru).

Boris N. Porfiriev — Member of RAS, Academic Supervisor, Institute of Economic Forecasting of RAS; Scopus Author ID: 6603270384; <https://orcid.org/0000-0001-8515-3257> (47, Nakhimovsky Ave., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: b_porfiriev@mail.ru).

Alexander A. Shirov — Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Econ.), Director, Institute of Economic Forecasting of RAS; Scopus Author ID: 16234922500; <https://orcid.org/0000-0003-0806-9777> (47, Nakhimovsky Ave., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: schirov-mse@yandex.ru).

Andrey Yu. Kolpakov — Cand. Sci. (Econ.), Senior Research Associate, Institute of Economic Forecasting of RAS; Scopus Author ID: 55039903300; <https://orcid.org/0000-0003-4812-4582> (47, Nakhimovsky Ave., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: ankolp@gmail.com).

Anton I. Pyzhev — Cand. Sci. (Econ.), Head of Laboratory, Associate Professor, Siberian Federal University; Senior Research Associate, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of RAS; Scopus Author ID: 57209504336; <https://orcid.org/0000-0001-7909-3227> (49, Svobodnyy Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru).

Дата поступления рукописи: 28.05.21

Прошла рецензирование: 11.08.21

Принято решение о публикации: 24.09.2021.

Received: 28 May 2021.

Reviewed: 11 Aug 2021.

Accepted: 24 Sep 2021.