

Поглощение углерода лесами регионов Поволжья и Сибири: состояние и перспективы

А.И. Пыжев^{1,2*}, Е.А. Ваганов¹

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, Россия

Перспектива экономического развития России будет неразрывно связана с успешностью участия страны в реализации глобальных климатических инициатив. Формируемая в настоящий момент стратегия развития национальной экономики с низким уровнем выбросов парниковых газов подразумевает наиболее полное использование потенциала поглощения углерода лесными экосистемами, в том числе за счет реализации различных лесоклиматических проектов. В статье показано, что несмотря на самые большие в мире лесные площади, углерод-поглощающая способность российских лесов не может сбалансировать антропогенные выбросы парниковых газов. На примерах нескольких регионов Поволжья и Сибири рассмотрена пространственная динамика бюджета углерода лесов в 2010-х гг. Для богатых бореальными лесами регионов Сибири наблюдается существенная диспропорция между количественными и качественными характеристиками лесных ресурсов и поглощающей способностью, которая объясняется неэффективным режимом лесохозяйствования на территории и высокой интенсивностью лесных нарушений. С учетом того, что выстраивание результативной системы борьбы с лесными пожарами и насекомыми-вредителями требует очень объемных и дорогостоящих мероприятий, эффективность которых оценить затруднительно, помимо использования потенциала наращивания поглощения углерода в традиционных лесных регионах при реализации лесоклиматических проектов следует обратить внимание и на малолесные районы.

Ключевые слова: экономика климатических изменений, лесные экосистемы, углерод-поглощающая способность лесов, бюджет углерода, парниковые газы, Россия, глобальные климатические инициативы, лесоклиматические проекты

Для цитирования: Пыжев А.И., Ваганов Е.А. (2021). Поглощение углерода лесами регионов Поволжья и Сибири: состояние и перспективы. *Георесурсы*, 23(3), с. 36–41. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.6>

Введение. Актуальность проблемы глобальных климатических изменений и их влияния на различные аспекты общественной и экономической жизни перестала вызывать сомнение в последние годы. Неминуемое внедрение в практику международной экономической деятельности регулирования, связанного с учетом эмиссии и поглощения парниковых газов отдельными предприятиями, регионами и странами, актуализирует проблему корректного учета составляющих углеродного бюджета, а также активных мер по сокращению выбросов парниковых газов различными способами. Политические руководители ведущих экономик мира в последнее время соревнуются в формулировании национальных целей и вкладов в решение проблемы глобального потепления, пытаясь сбалансировать амбициозность провозглашаемых обещаний и возможность их практической реализации (Rogelj et al., 2021). Разумеется, данная тематика вызывает пристальное внимание всего академического сообщества и требует комплексного, междисциплинарного ответа на многие вопросы (Данилов-Данильян и др., 2020).

Для России данная проблема особенно важна в силу следующих причин. Во-первых, наша страна является четвертым в мире эмитентом парниковых газов после Китая, США и Индии (по данным за 2019 год, валовые выбросы составили 2 119,4 млн т CO₂-эквивалента). Во-вторых,

динамика выбросов за последние годы достаточно устойчива и не имеет выраженной тенденции к сокращению. В-третьих, проектируемые в настоящее время системы трансграничного углеродного регулирования подразумевают взимание основной части платы за выбросы парниковых газов преимущественно с производителей первичных природных ресурсов, что угрожает прежде всего странам с сырьевой структурой экономики (Порфирьев и др., 2020; Колпаков, 2021; Широков и др., 2021).

В соответствии с нормами IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Межгосударственная группа экспертов по изменению климата), учет углеродного бюджета ведется на уровне отдельных стран, при этом нормы Парижского климатического соглашения 2015 года подразумевают, что страны вправе самостоятельно определять национальный вклад в борьбу с глобальным потеплением. Для России цель сформулирована следующим образом: к 2030 году необходимо обеспечить сокращение выбросов до 70% от уровня 1990 года. Известно, что данная цель была фактически достигнута еще к концу 1990-х гг. по причине ликвидации множества советских промышленных предприятий, особенно относившихся к военно-промышленному комплексу и прочим отраслям экономики, которые не смогли сохранить конкурентоспособность в новых рыночных условиях.

Помимо сокращения антропогенных выбросов парниковых газов важное значение приобретают меры по наращиванию поглощающей способности парниковых газов наземными экосистемами (прежде всего, лесами).

* Ответственный автор: Антон Игоревич Пыжев
e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru

© 2021 Коллектив авторов

Такие меры фактически являются единственным способом балансирования глобального «углеродного» уравнения. Соответственно, быстрое наращивание поглощения углерода лесами может существенно изменить текущую и перспективную ситуацию с глобальным потеплением без существенных ограничений экономического роста. Данный подход будет реализовываться в рамках различных лесоклиматических проектов – системных мероприятий, направленных на увеличение поглощения углерода лесными экосистемами относительно естественного уровня.

В настоящей статье предлагается проанализировать потенциал использования углерод-поглощающей способности российских лесов на примере регионов Поволжья и Сибири. Обработка данных и построение карт выполнено с помощью открытого, свободно-распространяемого статистического пакета программ *R* (R Core team, 2021) с модулями *tmap* (Tennekes, 2018), *forecast* (Hyndman, Khandakar, 2008).

Роль лесов в национальном балансе выбросов и поглощения парниковых газов. На первый взгляд, создается впечатление, что Россия, обладающая пятой частью мировых лесов по площади, имеет все шансы практически компенсировать любые промышленные выбросы парниковых газов за счет огромной углерод-поглощающей способности своих лесов. В действительности это утверждение лишь отчасти соответствует действительности.

Ранее нами обсуждалась ситуация с различиями в методиках учета углерод-поглощающей способности лесов с России (Пыжев, Ваганов, 2019). В соответствии с национальными обязательствами по предоставлению ежегодной отчетности в Межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК), наша страна ежегодно рассчитывает оценки поглощения углерода всеми лесными экосистемами (точнее сектор ЗИЗЛХ – Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство) на основе методики Региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) по данным Государственного лесного реестра (ГЛР). Данная методика многократно обсуждалась и уточнялась и признается экспертами МГЭИК как соответствующая требованиям данной организации. Несмотря на альтернативные оценки, полученные различными исследовательскими коллективами, которые превышают официальные в 2–3 раза (Швиденко, Щепашенко, 2014; Filipchuk et al., 2018), именно оценки, полученные с помощью РОБУЛ, будут использованы и впредь для учета углерод-поглощающей способности российских лесов, в том числе в целях практического внедрения экономических механизмов углеродного регулирования (Романовская и др., 2020).

Недавняя работа, выполненная с участием всех перечисленных выше коллективов, показывает, что действительная поглощающая способность российских лесов примерно на 47% больше заявленной в официальной национальной отчетности перед МГЭИК (Schepaschenko et al., 2021).

Любопытно проследить динамику антропогенных выбросов парниковых газов на фоне поглощения углерода лесными экосистемами на всем доступном горизонте наблюдений, начиная с 1990 г. (рис. 1).

Наглядна отмеченная ранее выраженная тенденция к быстрому сокращению выбросов парниковых газов: с

3,1 млн т в 1990 г. до 1,9 млн т в 2000 г., то есть почти на 40%. Затем, по мере восстановительного роста российской экономики в условиях технологической модернизации, показатель постепенно возрастал, приблизившись к настоящему моменту к 2,1 млн т.

Иная динамика наблюдается для поглощения углерода сектором ЗИЗЛХ: в 1990 г. оно оценивалось всего в 70 тыс. т, но уже к 2000 г. приблизилось к 500 тыс. т. В дальнейшем уровень показателя находился в диапазоне 530–710 тыс. т ежегодно. Очень низкие показатели в начале периода наблюдения в целом коррелируют с результатами известных альтернативных оценок, в которых констатировалась высокая межгодовая изменчивость стока углерода в диапазоне 180–750 тыс. т в год (Нильссон и др., 2003).

В целом на настоящий момент сектор ЗИЗЛХ обеспечивает около 25% условной компенсации антропогенной эмиссии парниковых газов в России, играя, таким образом, действительно значимую роль в национальном углеродном балансе. Однако, говорить о полной условной компенсации антропогенных выбросов парниковых газов за счет поглощения углерода лесными экосистемами в настоящий момент не приходится. Кроме того, даже если бы российские леса могли предоставить такую возможность, это бы не отразилось на экономическом обременении предприятий новыми климатическим платежами. Экономические механизмы, разрабатываемые в рамках Парижского соглашения, не подразумевают возможности зачета естественного поглощения углерода в качестве компенсации антропогенных выбросов (Макаров и др., 2018). В таких целях можно применять только целенаправленные антропогенные изменения в потоках парниковых газов: например, появление лесов в тех местах, где их прежде не было; создание технических резервуаров накопления углерода и пр.

Перспективы увеличения углерод-поглощающей способности лесов: региональный аспект. Резко возросший интерес к вопросам увеличения поглощающей способности российских лесов привел к существенному росту количества научных публикаций по данной тематике. Традиционно мало работ, в которых бы рассматривался региональный разрез, а тем более – уровень отраслей или предприятий. В то же время по мере практического

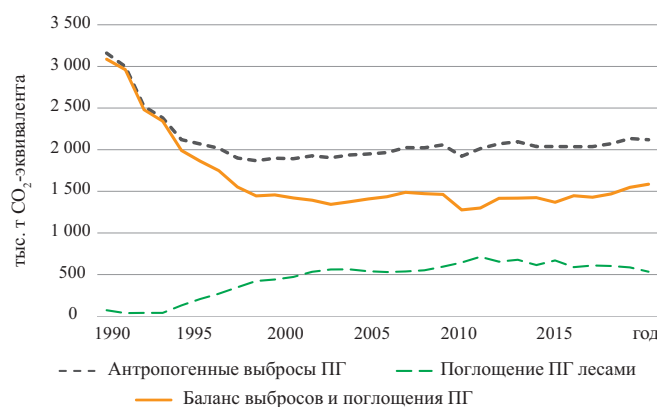


Рис. 1. Динамика антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ), поглощения ПГ лесами, баланса выбросов и поглощения ПГ в России в 1990–2019 гг. Источник: Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. <http://downloads.igce.ru/kadastr/rus-2021-nir-15apr21.zip>

внедрения любых механизмов углеродного регулирования важнейшее значение приобретут именно такие исследования, поскольку любые предлагаемые сегодня способы взимания «углеродных» платежей в конце концов будут касаться именно конкретных производителей, которые столкнутся с увеличением издержек на экспорт своей продукции.

Так, например, в литературе практические не анализируются данные региональных учетов потоков парниковых газов в рамках сектора ЗИЗЛХ, которые ежегодно публикуются в рамках Национальных кадастров антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. Представленные данные являются ценным источником информации о пространственной динамике бюджетов углерода лесных экосистем, несмотря на описанные выше систематические занижения поглощающей способности лесов.

В целях настоящего исследования проведем базовый анализ пространственной динамики бюджетов углерода лесов некоторых крупных территорий страны. Для контраста будем рассматривать два крупных российских макрорегиона, выделенных по эколого-географическим признакам. В качестве первого макрорегиона предлагается избрать пять субъектов федерации, располагающихся в Поволжье: Самарскую и Ульяновскую области, Республики Татарстан, Чувашия и Марий Эл. Данные регионы географически связаны бассейном р. Волги, расположены в преимущественно степной, малолесной зоне Европейской части страны (рис. 2).

Например, территория Республики Татарстан относится к малолесным районам: общая площадь лесного фонда региона составляет порядка 1,3 млн га, а лесистость

территории не превышает 18%. С учетом истории хозяйственного освоения лесных и сельскохозяйственных территорий Республики, приведших к массовой эрозии почв и высоких темпов обезлесения в Советский период развития страны, представляется, что регион имеет определенный потенциал для наращивания лесистости, что позволит увеличить возможности поглощения углерода лесами. В настоящий момент, даже по официальным данным Кадастра парниковых газов России, оценки которых, скорее всего, довольно существенно занижены, леса Татарстана ежегодно поглощают до 4,8 млн т CO_2 -эквивалента. В то же время, например Группа «Татнефть» ежегодно выбрасывает около 3,8 млн т CO_2 -эквивалента, то есть практически сопоставимый объем (Устойчивое энергетическое будущее..., 2020).

Динамика углеродного бюджета лесов регионов Поволжья оказывается закономерно стабильной (рис. 3). Практически во всех случаях она повторяет общественное отсутствие вариации данного показателя, обусловленное, прежде всего, низким качеством и частотой учета лесного фонда, отражаемого в Государственном лесном реестре. Кроме того, малолесные районы ожидаемо мало встречаются с основными видами естественных и антропогенных лесных нарушений (пожары, вспышки насекомых-вредителей, ветровалы). Уровни самих бюджетов сопоставимы между собой со средней абсорбцией углерода около 906 млн т углерода в год.

Напротив, территории второго макрорегиона представлены густо заросшими сибирскими бореальными лесами Красноярский край, Иркутская и Томская области. Такой подход к выделению регионов позволяет обеспечить достаточную контрастность для интерпретации результатов сравнительного анализа (рис. 4).

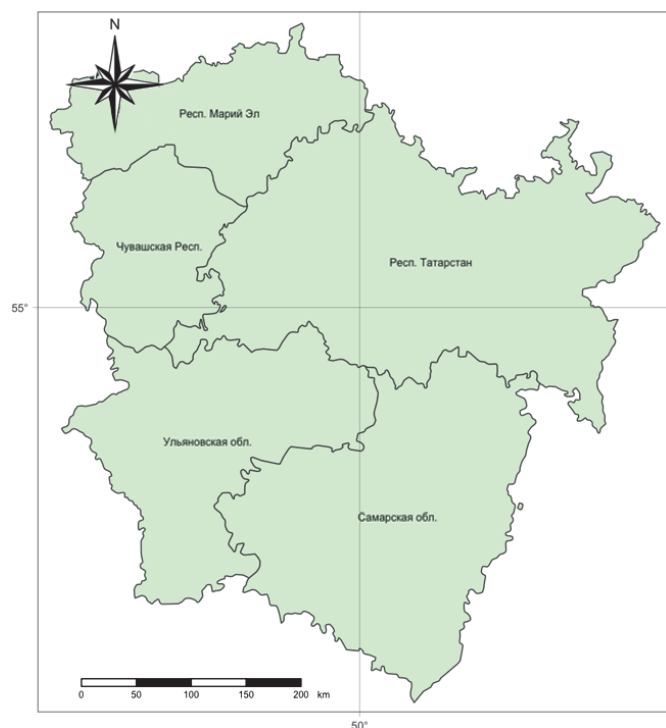
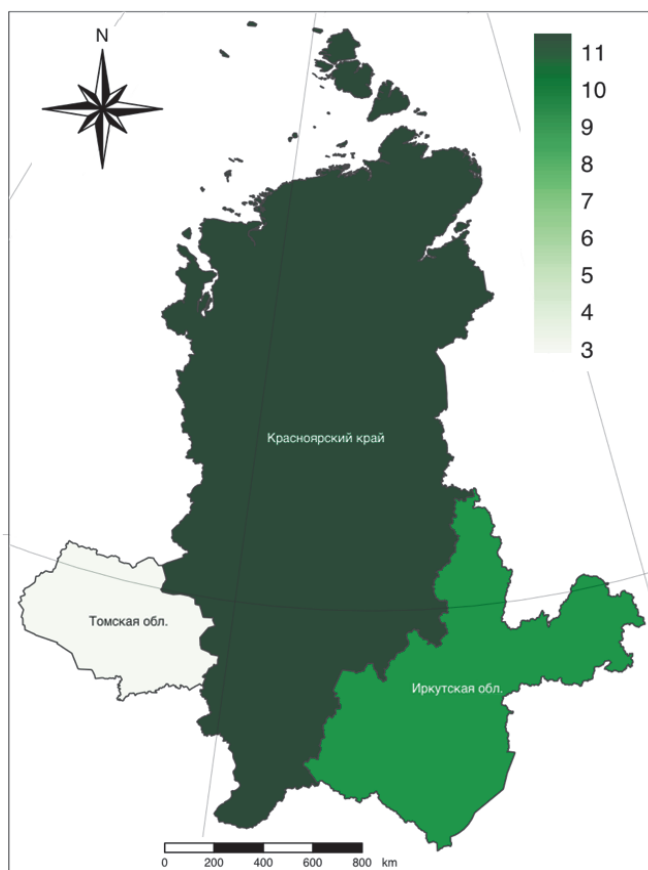


Рис. 2. Пространственные распределения запасов древесины рассматриваемых регионов Поволжья (слева) и Сибири (справа) по состоянию на 2018 г., млрд куб. м. Источник: данные Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) по запасам древесины в регионах Российской Федерации



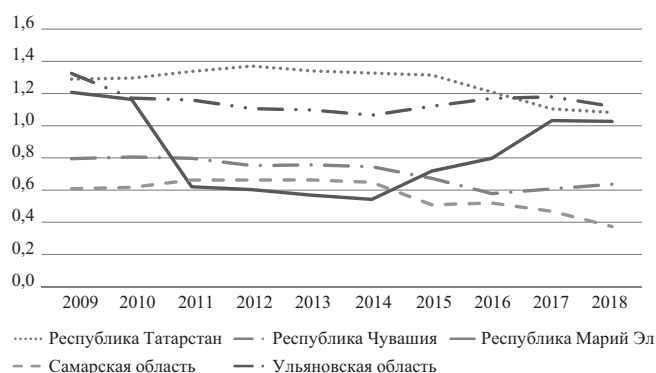


Рис. 3. Динамика бюджета углерода лесов рассматриваемых регионов Поволжья в 2009–2018 гг., млн т углерода в год. Источник: Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. <http://downloads.igce.ru/kadastr/rus-2021-nir-15apr21.zip>

В контексте данного обсуждения важнейшее значение имеют крупнейшие лесные регионы России: Красноярский край и Иркутская область.

Иркутская область, один из наиболее богатых лесами регионов страны (площадь лесов – 71,5 млн га, общий запас древесины – 8,8 млрд куб. м, то есть 10,7% общероссийских запасов), и крупнейший лесозаготовитель (31,7 млн куб. м в 2019 г., то есть 13% общероссийской лесозаготовки). Красноярский край является абсолютным лидером страны по площади лесов (168 млн га), уступая Иркутской области по объемам лесозаготовки (25,6 млн куб. м). Успехи в экстенсивном освоении лесных ресурсов в Ангара-Енисейском макрорайоне оборачиваются парадоксальной ситуацией, когда лидер лесной отрасли страны, которая владеет 1/5 мировых лесов, в текущей ситуации не может обеспечить высокие показатели поглощения углерода.

По официальным данным Национального кадастра парниковых газов России, леса Иркутской области поглощали 13,4 млн т CO_2 -эквивалента в среднегодовом выражении в 2009–2018 гг., что составляет всего 2,3% от общероссийского показателя, та же цифра для Красноярского края – всего 11,5 млн т CO_2 -эквивалента. Такие цифры объясняются высокими объемами рубок и интенсивными лесными нарушениями: лесных пожаров и вспышек насекомых-вредителей, в том числе новых агрессивных видов (Баранчиков и др., 2011; Ivantsova et al., 2020). В отдельные годы бюджет углерода практически занулялся из-за сильных лесных пожаров: такая ситуация наблюдалась в Иркутской области в 2010 г. (3,2 млн т) и 2018 гг. (2,6 млн т). Таким образом, наблюдается существенная диспропорция между количественными и качественными характеристиками лесных ресурсов и поглощающей способностью, которая объясняется неэффективным режимом лесохозяйствования на территории и высокой интенсивностью лесных нарушений.

С учетом того, что выстраивание результативной системы борьбы с лесными пожарами и насекомыми-вредителями требует очень объемных и дорогостоящих мероприятий, эффективность которых оценить затруднительно, приведенные выше иллюстрации сложившегося положения приводят к мысли о том, что помимо использования потенциала наращивания поглощения углерода

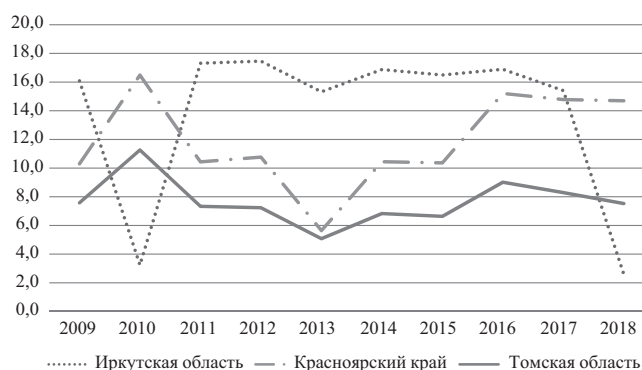


Рис. 4. Динамика бюджета углерода лесов рассматриваемых регионов Сибири в 2009–2018 гг., млн т углерода в год. Источник: Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. <http://downloads.igce.ru/kadastr/rus-2021-nir-15apr21.zip>

в традиционных лесных регионах внимание следует обратить и на малолесные районы.

Закключение. Участие России в глобальных климатических инициативах требует не только снижения антропогенной эмиссии, но и максимального использования потенциала лесов как естественных поглотителей углекислого газа. Приведенные в статье примеры убедительно показывают, что леса и обладают выраженным потенциалом частичной компенсации промышленной эмиссии парниковых газов в рамках практики климатического регулирования при условии реализации соответствующих лесоклиматических проектов. Помимо работ по уточнению оценок бюджета углерода, которые можно проводить в рамках создания карбоновых полигонов (мониторинговой сети станций и наземных стационаров наблюдения за потоками и запасами углерода) на территории области, внимание следует обратить на интенсивное наращивание объемов и качества работ по лесовосстановлению и лесоразведению.

Необходимо понимать, что нельзя говорить о возможности прямой компенсации выбросов за счет естественного поглощения углерода лесами, поскольку для зачетов (англ. *offsets*) могут быть использованы только целенаправленные антропогенные изменения в потоках парниковых газов (например, появление лесов в тех местах, где их прежде не было).

Финансирование/Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-18-00145).

Коллектив выражает благодарность ак. В.А. Крюкову за обсуждения, которые послужили отправной точкой для замысла статьи.

Литература

Баранчиков Ю.Н., Петько В.М., Астапенко С.А., Акулов Е.Н., Кривец С.А. (2011). Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири. *Вестник Московского государственного университета леса – лесной вестник*, 4, с. 78–81.

Данилов-Данильян В.И., Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. (2020). Проблема климатических изменений – поле сближения и взаимодействия естественных и социогуманитарных наук. *Вестник Российской академии наук*, 90(10), с. 914–925. <https://doi.org/10.1134/S1019331620050123>

Колпаков А.Ю. (2021). Адекватный ответ на введение механизма трансграничного углеродного регулирования ЕС. *Сб. материалов XVI*

Межд. научно-практ. конф. Российского общества экологической экономики «Ресурсная экономика, изменение климата и рациональное природопользование». Красноярск, с. 84–85.

Крюков В.А., Лавровский Б.Л., Селиверстов В.Е. и др. (2020). Сибирский вектор развития: в основе кооперация и взаимодействие. *Проблемы прогнозирования*, 5(182), с. 46–59. <https://doi.org/10.1134/S1075700720050111>

Макаров И.А., Чен Х., Пальцев С.В. (2018). Последствия Парижского климатического соглашения для экономики России. *Вопросы экономики*, 4, с. 76–94.

Нильссон С., Ваганов Е.А., Швиденко А.З. и др. (2003). Углеродный бюджет растительных экосистем России. *Доклады академии наук*, 393(4), с. 541–543.

Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю. (2020). Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России. *Мировая экономика и международные отношения*, 64(9), с. 15–25.

Пыжев А.И., Ваганов Е.А. (2019). Роль российских лесов в реализации Парижского климатического соглашения: возможности или риски? *ЭКО*, 11, с. 27–44.

Романовская А.А., Трунов А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т. (2018). Проблема учета поглощающей способности лесов России в Парижском соглашении. *Лесоведение*, 5, с. 323–334.

Устойчивое энергетическое будущее. Годовой отчет Компании «Татнефть» (2020). <https://2020.tatneft.ru>

Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Югов А.Н. (2020). Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата. *Лесохозяйственная информация*, 1, с. 92–114.

Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. (2014). Углеродный бюджет лесов России. *Сибирский лесной журнал*, 1, с. 69–92.

Широв А.А., Белоусов Д.Р., Блохин А.А. и др. (2020). Потскризисное восстановление экономики и основные направления прогноза социально-экономического развития России на период до 2035 г. Москва: Наука, 152 с.

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, pp. 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.03.002>

Hyndman R. J., Khandakar Y. (2008). Automatic time series forecasting: The forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, 26, pp. 1–22. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>

Ivantsova E.D., Pyzhev A.I., Zander E.V. (2019). Economic Consequences of Insect pests outbreaks in boreal forests: a literature review. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, 12(4), pp. 627–642. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0417>

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Rogelj J. et al. (2021). Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix. *Nature*, 591(7850), pp. 365–368. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00662-3>

Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S. et al. (2021). Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*, 11, 12825. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>

Tennekes M. (2018). Tmap: Thematic Maps in R. *Journal of Statistical Software*, 84, pp. 1–39. <https://doi.org/10.18637/jss.v084.i06>

Сведения об авторах

Антон Игоревич Пыжев – кандидат экон. наук, доцент кафедры социально-экономического планирования, заведующий научно-учебной лабораторией экономики природных ресурсов и окружающей среды, Сибирский федеральный университет; старший научный сотрудник отдела прогнозирования экономического развития Красноярского края, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН

Россия, 660041, Красноярск, пр-т Свободный, д. 79

e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru

Евгений Александрович Ваганов – академик РАН, доктор биол. наук, научный руководитель, Сибирский федеральный университет

Россия, 660041, Красноярск, пр-т Свободный, д. 79

Статья поступила в редакцию 28.07.2021;

Принята к публикации 03.08.2021;

Опубликована 30.08.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Carbon absorption by forests in the Volga region and Siberia: state and prospects

A.I. Pyzhev^{1,2*}, E.A. Vaganov¹

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

*Corresponding author: Anton I. Pyzhev, e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru

Abstract. The prospect of Russia's economic development will be inextricably bound up with the country's success in the implementation of global climate initiatives. The strategy for the development of the national economy with a low level of greenhouse gas emissions, which is currently being formed, implies the fullest use of the potential for carbon sequestration by forest ecosystems, including through the implementation of various forest-climatic projects.

The article shows that despite the world's largest forest areas, the carbon-absorbing capacity of Russian forests cannot balance anthropogenic greenhouse gas emissions. Using the examples of several regions of the Volga region and Siberia, the spatial dynamics of the forest carbon budget in the 2010s is considered. For the regions of Siberia rich in boreal forests, there is a significant disproportion between the quantitative and qualitative characteristics of forest resources and the absorbing capacity, which is explained by the ineffective forestry regime in the territory and the high intensity of forest disturbances.

Taking into account the fact that building an effective system for combating forest fires and insect pests requires very voluminous and expensive measures, the effectiveness of which is difficult to assess, the above illustrations of the current situation lead to the idea that, in addition to using the potential for increasing carbon sequestration in traditional forest regions in the implementation of forest-climatic projects should pay attention to sparsely forested areas.

Keywords: economics of climate change, forest ecosystems, carbon-absorbing capacity of forests, carbon budget, greenhouse gases, Russia, global climate initiatives, forest-climate projects

Acknowledgements

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Project No. 19-18-00145).

The team is grateful to ac. V.A. Kryukov.

Recommended citation: Pyzhev A.I., Vaganov E.A. (2021). Carbon absorption by forests in the Volga region and Siberia: state and prospects. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 36–41. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.6>

References

- Baranchikov Yu.N., Petko V.M., Astapenko S.A., Akulov E.N., Krivets S.A. (2011). The Ussuri polygraph is a new aggressive pest of fir in Siberia. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – lesnoi vestnik*, 4, pp. 78–81. (In Russ.)
- Box G., Jenkins G. (1970). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day, 553 p.
- Danilov-Daniliyan V.I., Kattsov V.M., Porfiriev B.N. (2020). The problem of climate change is a field of convergence and interaction of natural and socio-humanitarian sciences. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk* [Herald of the Russian Academy Of Sciences], 90(10), pp. 914–925. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1019331620050123>
- 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, pp. 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.03.002>
- Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Yugov A.N. (2020). Boreal Forests of Russia: Opportunities for Climate Change Mitigation. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya* [Forestry information], 1, pp. 92–114. (In Russ.)
- Hyndman R. J., Khandakar Y. (2008). Automatic time series forecasting: The forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, 26, pp. 1–22. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>
- Ivantsova E.D., Pyzhev A.I., Zander E.V. (2019). Economic Consequences of Insect pests outbreaks in boreal forests: a literature review. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, 12(4), pp. 627–642. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0417>
- Kolpakov A.Yu. (2021). Adequate response to the introduction of the EU carbon border adjustment mechanism. *Proc. XVI Int. Sci. and Pract. Conf. of the Russian Society of Ecological Economics "Resource Economy, Climate Change and Environmental Management"*. Krasnoyarsk, pp. 84–85. (In Russ.)
- Kryukov V.A., Lavrovskii B.L., Seliverstov V.E. et al. (2020). Siberian Development Vector: Based on Cooperation and Interaction. *Stud Russ Econ Dev.*, 5(182), pp. 46–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1075700720050111>
- Makarov I.A., Chen Kh., Paltsev S.V. (2018). Impacts of Paris Agreement on Russian economy. *Voprosy Ekonomiki*, 4, pp. 76–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-4-76-94>
- Nilsson S., Vaganov E.A., Shvidenko A.Z. et al. (2003). Carbon budget of plant ecosystems in Russia. *Doklady akademii nauk*, 393(4), pp. 541–543. (In Russ.)
- Porfir'ev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. (2020). Low-carbon development strategy: prospects for the Russian economy. *World Economy and International Relations*, 64(9), pp. 15–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25>
- Pyzhev A.I., Vaganov E.A. (2019). Global Climate Change Economics: The Role of Russian Forests. *EKO [ECO]*, 11, pp. 27–44. (In Russ.)
- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rogelj J. et al. (2021). Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix. *Nature*, 591(7850), pp. 365–368. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00662-3>
- Romanovskaya A.A., Trunov A.A., Korotkov V.N., Karaban' R.T. (2018). The problem of accounting for carbon sequestration ability of Russian forests in Paris climatic agreement. *Lesovedenie*, 5, pp. 323–334. (In Russ.)
- Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S. et al. (2021). Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*, 11, 12825. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
- Shirov A.A., Belousov D.R., Blokhin A.A. et al. (2020). Post-crisis economic recovery and the main directions of forecasting the socio-economic development of Russia for the period up to 2035. Moscow: Nauka, 152 p. (In Russ.)
- Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. (2014). Carbon budget of Russian forests. *Sibirskii lesnoi zhurnal* [Siberian Forest Journal], 1, pp. 69–92. (In Russ.)
- Tennekes M. (2018). Tmap: Thematic Maps in R. *Journal of Statistical Software*, 84, pp. 1–39. <https://doi.org/10.18637/jss.v084.i06>

About the Authors

Anton I. Pyzhev – PhD (Economics), Associate Professor, Department of Social and Economic Planning, Head of the Laboratory for Environmental and Resource Economics, Siberian Federal University; Senior Researcher, Krasnoyarsk Department of Forecasting the Economic Development of the Region, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
79, Svobodny Ave, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
email: apyzhev@sfu-kras.ru

Eugene A. Vaganov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dsc (Biology), Academic Director, Siberian Federal University
79, Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

*Manuscript received 28 July 2021;
Accepted 3 August 2021; Published 30 August 2021*