

УДК 504.062.4

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА МЕТОДИК РАСЧЕТА ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ЛЕСНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2023 г. Д. Д. Сорокина^а, *, А. В. Птичников^б, А. А. Романовская^а

^аИнститут глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, Москва, Россия

^бИнститут географии РАН, Москва, Россия

*e-mail: sorokina.di.dm@gmail.com

Поступила в редакцию 08.11.2022 г.

После доработки 07.02.2023 г.

Принята к публикации 24.04.2023 г.

Оценка лесного углеродного баланса имеет большое значение для выстраивания климатической политики Российской Федерации на национальном и международном уровнях. Однако результаты оценок, проводимых различными научными группами, различаются в зависимости от применяемых подходов и методик. Рассматриваются ключевые для Российской Федерации системы оценки углеродного баланса лесных экосистем: интегральная земельная информационная система, ИЗИС (Международный институт прикладного системного анализа, Австрия), The Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector, CBM-CFS (Канада), региональная оценка бюджета углерода лесов, РОБУЛ (Россия), методика Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (Россия). Методики сравнивались относительно их соответствия требованиям МГЭИК. Выявлены индивидуальные особенности методик и их применения, предложены рекомендации по улучшению точности оценок углеродного баланса. Основные ключевые различия, обуславливающие расхождение оценок разных научных групп, следующие: следование рекомендациям МГЭИК, выбор между методами “поступлений–потерь” и “по разности запасов”, подход к вопросу управляемости лесов, способ расчета лесопожарных эмиссий, источники исходных данных и их достоверность. Отмечена важность научной дискуссии и необходимость соответствия методик международным стандартам, подчеркнута проблема неактуальности исходных данных и занижения лесопожарных эмиссий независимо от выбранной методики. В целом, применяемая на настоящий момент методика удовлетворительно оценивает баланс углерода в лесах. Рекомендуется усовершенствование оценок на основе данных дистанционного зондирования Земли и второго цикла государственной инвентаризации лесов (ГИЛ). Осуществление Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. должно обеспечиваться не столько изменениями в способе расчета углеродного баланса, сколько реальными мерами по защите лесов. При этом любая значительная корректировка методологии должна сопровождаться корректировкой национальных климатических целей.

Ключевые слова: бюджет углерода лесов, поглотительная способность экосистем России, Парижское соглашение, изменение климата, парниковые газы

DOI: 10.31857/S2587556623040131, **EDN:** ZNHULU

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Согласно Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов (ПГ) до 2050 г.¹ леса являются важнейшим элементом декарбонизации и достижения углеродной нейтральности страны. В рамках Стратегии предполагается уве-

личить поглощающую способность управляемых экосистем на 665 млн т — с 535 до 1200 млн т CO₂-экв. С учетом того, что объем выбросов ПГ в РФ составляет 2.1 млрд т, сектор землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) должен нейтрализовать более половины выбросов ПГ к 2050 г. Основной вклад в поглощение углекислого газа приходится на лесные экосистемы.

На данный момент существуют несколько оценок нетто-поглощения ПГ лесами РФ, включая оценки Национального кадастра парниковых газов

¹ Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р “О Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года” (дата обращения 24.07.2022).

(Национальный ..., 2022), Международного института прикладного системного анализа (Швиденко, Щепашенко, 2014), Института космических исследований РАН (Барталев и др., 2020), Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства, ВНИИЛМ (Малышева и др., 2017) и ряда других. Эти оценки базируются на различных методиках расчета углеродного баланса лесных экосистем и различаются в четыре и более раз.

Знание точного баланса ПГ в лесах имеет большое практическое значение для:

- планирования и реализации стратегии низкоуглеродного развития страны;
- расчета определенного на национальном уровне вклада РФ в выполнение целей Парижского соглашения РКИК ООН;
- выстраивания эффективной политики управления лесами с учетом климатических приоритетов;
- составления национального кадастра парниковых газов и формирования национальной системы мониторинга углеродного бюджета лесов.

Таким образом, понимание особенностей применяемых методик расчета углеродного баланса лесных экосистем имеет первостепенное значение. В этой связи объектом нашего исследования являются различия ключевых методик оценки углеродного баланса лесных экосистем, включая интегральную земельную информационную систему, ИЗИС (Международный институт прикладного системного анализа, Австрия), The Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector, CBM-CFS (Канада), региональную оценку бюджета углерода лесов, РОБУЛ (Россия), методику Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (Россия).

На данный момент эксперты РКИК ООН одобрили методический подход к оценке поглощающей способности российских лесов на основе методики РОБУЛ/РОБУЛ-М в рамках Национального доклада о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом (далее — национальный кадастр). Эта же методика также легла в основу Методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов в РФ², одобренных Минприродой РФ (Кокорин, Луговая, 2018). Тем не менее, на протяжении ряда лет среди специалистов и представителей государствен-

ных органов идет дискуссия о том, какая методика оценки поглощающей способности лесов дает наиболее достоверный результат (Замолотчиков и др., 2014б; Кокорин, Луговая, 2018; Филиппчук и др., 2017б), а также о возможности использования той или иной методики в качестве официальной, т.е. отвечающей требованиям Минприроды РФ и руководящим принципам (Руководящие принципы ..., 2006) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Цель исследования — анализ соответствия указанных выше методик руководящим указаниям МГЭИК, выявление индивидуальных особенностей методик. Результаты сравнения могут быть использованы для формирования позиций заинтересованных организаций в части применения методик для проведения оценки поглощающей способности лесных экосистем, формирования национальных и региональных систем мониторинга бюджета углерода в лесах. Понимание различий между методиками может облегчить выбор того или иного методического подхода к реализации природно-климатических проектов.

При проведении сравнительной оценки мы ставили, в первую очередь, следующие задачи:

1. сравнить данные методики с точки зрения их соответствия руководящим указаниям МГЭИК;
2. показать возможность использования оценок поглощения лесами, полученных на основе различных методик, для формирования климатической политики страны, регионов;
3. дать информацию по возможности применения указанных методик при оценке нетто-поглощения в природно-климатических проектах.

В рамках исследования мы постарались показать различия между методиками в части:

- используемых углеродных пулов и фракций в лесных экосистемах;
- выбора между двумя основными подходами МГЭИК к оценке изменения запасов углерода в пулах: методы “поступлений-потерь” или “по разности запасов”;
- используемых источников данных (материалы наземных инвентаризаций, данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) и т.д.), с учетом оценки их достоверности;
- учета управляемых лесов и критериев отношения лесов к управляемым. Хотя учитываемые площади управляемых лесов не являются характеристикой непосредственно самой методики, этот вопрос определяет, по какой территории будут проводиться расчеты углеродного баланса, что в свою очередь напрямую влияет на итоговые оценки.

² Распоряжение Минприроды России “Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов”: приказ, от 30.06.2017 № 20-р // Справочно-правовая система “Консультант Плюс”. Дата обновления 15.06.2022 (дата обращения 24.07.2022).

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ МГЭИК К ОЦЕНКЕ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА НАЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

В соответствии со ст. 4 и 12 РКИК ООН Российская Федерация имеет обязательство отчитываться об углеродном балансе лесных экосистем в рамках ежегодного национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями всех парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. Национальный кадастр РФ охватывает 5 секторов, отчетность по лесам входит в сектор ЗИЗЛХ. Методология подсчета абсорбции и выбросов CO₂ для составления национальных кадастров определяется руководящими указаниями МГЭИК. На данный момент наиболее важными для отчетности по сектору ЗИЗЛХ являются следующие документы:

- Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (РУЭП-ЗИЗЛХ), 2003 г. (Руководящие указания ..., 2003);
- Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г. (Руководящие принципы ..., 2006);
- Приложение к руководящим указаниям МГЭИК 2006 г. по водно-болотным угодьям (Supplement ..., 2014);
- Дополнение 2019 г. к Руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г. (Refinement ..., 2019).

Вышеупомянутые документы взаимосвязаны между собой и составляют общую систему требований и рекомендаций для оценки выбросов и поглощений, поэтому далее в данной работе они рассматриваются в совокупности как единая методология МГЭИК, без разделения на отдельные доклады.

Подход МГЭИК к оценке углеродного баланса в секторе ЗИЗЛХ основан на нескольких принципах и допущениях:

- Национальные кадастры должны соответствовать эффективной практике — не содержать ни переоценки поглощений, ни недооценки выбросов, а также включать оценку неопределенностей, уменьшенных настолько, насколько это практически возможно.
- Так как прямое измерение потоков углерода в экосистеме трудноосуществимо, предполагается, что итоговый баланс, то есть поток углерода в атмосферу или из нее, равен изменениям в запасах углерода.
- Изменения в запасах зависят от скорости изменений практик землепользования (в лесах это — увеличение или сокращение числа и площади по-

жаров, изменение систем лесопользования, например, темпов и характера рубок и т.д.).

• Непосредственное количество запасенного углерода в пулах не имеет принципиального значения и служит в первую очередь для промежуточных расчетов при оценке баланса. Таким образом, учету и управлению подлежат только потоки (поглощение и выбросы) парниковых газов в экосистемах, в том числе в лесах, то есть важны лишь годовые изменения запасов углерода лесов в сторону увеличения или уменьшения.

• Выбросы парниковых газов в лесных экосистемах могут иметь как антропогенное, так и естественное происхождение. Ввиду того, что целью РКИК ООН и всех связанных с ней документов является ограничение именно антропогенного воздействия на климатическую систему, в национальном кадастре делается фокус только на те потоки, которые могут контролироваться деятельностью человека: можно сокращать выбросы или увеличить поглощение парниковых газов. Естественное поглощение и природные нарушения, происходящие на неуправляемых территориях, не учитываются. Под управляемыми лесами подразумеваются те леса, на которых постоянно или периодически происходит систематическое вмешательство человека, в том числе через осуществление мер, направленных на обеспечение выполнения лесной экосистемой экологических, экономических и социальных функций. При этом термин “управляемость” включает все виды деятельности, включая коммерческую (заготовка древесины) и защитную (противопожарные действия, санитарные рубки), и может трактоваться странами по-разному.

• По умолчанию предполагается, что весь углерод, удаленный из экосистемы вследствие хозяйственной деятельности, полностью выделяется в атмосферу в год удаления. В ином случае выбросы и поглощения CO₂ от изменения запасов углерода в пуле заготавливаемых лесоматериалов оцениваются в отдельной категории.

• МГЭИК требует, чтобы при составлении национальных кадастров для всех расчетов проводился контроль качества и оценка неопределенности. Это позволяет обеспечить максимально возможную добросовестность и точность, учитывая национальные условия и имеющиеся научные знания.

Национальные кадастры всех развитых стран и стран с переходной экономикой (включенных в Приложение 1 к РКИК ООН) ежегодно проходят независимое углубленное рецензирование группой аккредитованных экспертов РКИК ООН. По результатам данного рецензирования публикуются отчеты с замечаниями экспертов, в том числе, по поводу выбора методологий.

Методология МГЭИК подразумевает выбор одного из трех методологических уровней при составлении национального кадастра. От первого к третьему уровню увеличивается точность оценки выбросов и поглощений и сложность расчетов: от простых уравнений и использования коэффициентов по умолчанию до применения современных научных методов, моделей и коэффициентов, определенных на национальном и региональном уровне. Кроме того, третий уровень сложности может потребовать предоставления дополнительной информации, обосновывающей решение о применении отдельных параметров или методик. Такой дифференцированный подход позволяет разным странам осуществлять инвентаризацию парниковых газов в соответствии с уровнем их развития и постепенно совершенствовать точность оценки. Так, Российская Федерация применяет третий, наивысший методологический уровень, обладая подробным лесным реестром и собственными национальными методиками, основанными на региональных экспериментальных исследованиях (Романовская и др., 2018).

МЕТОДИКА CBM-CFS3 ОЦЕНКИ БАЛАНСА УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Модель бюджета углерода канадского лесного сектора (The Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector, CBM-CFS) является основной методикой для оценки углеродного баланса лесов в Канаде в рамках Национальной системы мониторинга и отчетности углерода в лесах (National Forest Carbon Monitoring, Accounting and Reporting System, NFCMARS)³.

Разработка CBM-CFS началась как научный проект в 1989 г. В 2002 г. на его основе было решено создать удобный пользовательский инструмент с понятным интерфейсом для расчета поглощений и выбросов в лесном секторе⁴. С 2006 CBM-CFS используется для предоставления отчетности по парниковым газам в РКИК ООН (Kurz et al., 2016).

В настоящее время опубликована последняя, третья версия модели (CBM-CFS3). Она представляет собой открытое программное обеспечение со встроенными коэффициентами для разных типов лесов и экологических зон Канады, а также подробное руководство на английском, французском, русском, испанском и польском языках (Kull et al., 2010). CBM-CFS3 позволяет проводить оценку запасов и баланса углерода на

основе данных пользователя о характеристиках леса и управлении лесным хозяйством, а также моделировать и сравнивать различные сценарии лесопользования.

CBM-CFS3 соответствует рекомендациям, изложенным в Руководящих указаниях по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства 2003 г. и Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г. Полученные с помощью нее данные используются для предоставления Канадой национального кадастра парниковых газов, что подтверждает прохождение экспертизы РКИК ООН (Kurz et al., 2009).

Следует также отметить, что методика CBM-CFS3 используется не только для отчетности в рамках РКИК ООН Канады, но и для верификации оценок, представленных другими странами. Такие работы были выполнены для российской отчетности — и показали сопоставимые результаты с расчетами по РОБУЛ (Замолотчиков и др., 2014а), и по другим европейским странам (Grassi et al., 2018).

Недостатком методики CBM-CFS3 для использования в российских условиях является малая сопоставимость собираемых данных по характеристикам лесов в Государственном лесном реестре (ГЛР) с набором требуемых исходных данных для расчета по канадской модели — которые соответствуют особенностям статистики Канады. Именно эта особенность и вынуждает страны разрабатывать собственные методические подходы, чтобы использовать собираемую национальную статистику по лесам максимально точно в национальных кадастрах.

МЕТОДИКА МЕЖДУНАРОДНОГО ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА (IIASA)

Одни из первых комплексных оценок баланса углерода российских лесных экосистем были проведены на основе методики, разработанной в Международном институте прикладного системного анализа под руководством А.З. Швиденко и Д.Г. Щепашенко (Лаксенбург, Австрия).

Первые работы оценивали ежегодную поглощающую способность российских лесов за 1961–1998 гг. на уровне 210 ± 30 (Shvidenko and Nilsson, 2002), 268 ± 94 и 272 ± 68 млн т С в год (Shvidenko and Nilsson, 2003). Затем методика была усовершенствована путем применения ландшафтно-экосистемного подхода и современных технологий ДЗЗ. Последние оценки чистого экосистемного углеродного баланса (ЧЭУБ) покрытых лесной растительностью земель России за период 2007–2009 гг. составили 546 ± 120 млн т С в год

³ <https://natural-resources.canada.ca/climate-change/climate-change-impacts-forests/carbon-accounting/13087> (дата обращения 24.07.2022).

⁴ <https://natural-resources.canada.ca/climate-change/climate-change-impacts-forests/carbon-accounting/carbon-budget-model/13107> (дата обращения 24.07.2022).

(Швиденко, Щепашенко, 2014). На основе исследования была составлена карта распределения ЧУЭБ, которая показывает значительное количество земель, являющихся чистыми источниками или поглотителями выбросов.

Оценки, выполненные в ИАА, не ориентируются на принципы МГЭИК. Так, например, в расчет включаются не только управляемые леса, а все лесные территории России, в том числе возобновившиеся леса на заброшенных сельскохозяйственных землях, и леса, не входящие в лесной фонд: расположенные на землях обороны и леса городских и сельских поселений (Швиденко, Щепашенко, 2014).

Таким образом, методика ИАА не предназначена для оценок баланса углерода в целях предоставления отчетности. Она является в первую очередь исследовательским инструментом, позволяющим комплексно оценить потоки углерода в наземных экосистемах, в том числе и в лесах.

Ландшафтно-экосистемный подход (ЛЭП), применяемый в последних работах ИАА, использует метод оценки потоков углерода с некоторыми элементами метода учета изменений запаса. Информационная основа ЛЭП представлена в виде интегральной земельной информационной системы (ИЗИС). ИЗИС включает данные государственной лесной инвентаризации, экспериментальные измерения *in situ*, модели оценки запасов и потоков, тематические карты (почвы, растительности, административных границ, лесохозяйственных предприятий и т.д.), а также разнообразные спутниковые данные (TERRA MODIS, LANDSAT, ENVISAT ASAR и др., всего 12 инструментов с восемью спутников).

Запас углерода определяется по стандартным пулам: 1) живая фитомасса, разделенная на 6 фракций, в том числе подлесок и подрост, 2) мертвая древесина и 3) почва, включая подстилку, которую обычно выносят в отдельный пул, близкий по свойствам к пулу валежной древесины. Расчет происходит с использованием конверсионных коэффициентов из встроенных в ИЗИС баз данных.

При этом к данной методике есть ряд вопросов, которые возникают, прежде всего, из-за ограниченности доступной информации:

- по всей видимости, отсутствует полный учет потерь углерода от разложения подстилки, мелкого опада и мертвых корней, т.к. SHR – гетеротрофное дыхание почв, в которое в российских исследованиях (Mukhortova et al., 2020) включено только дыхание почвы (очищенной от подстилки) за вычетом автотрофного дыхания корней, а фракция DEC согласно описанию включает только “крупные отпавшие древесные остатки”;

- по нашим оценкам, представляется, что скорости разложения крупных древесных остатков занижены: по оценкам ИАА в среднем разложе-

ние в Европейской части проходит за 40 лет, а в Азиатской – за 69 лет;

- вероятно, потери углерода от гибели лесов от пожаров могут быть несколько занижены: не ясно, почему для воздействия вредителей отдельно учитывали отпад древесины, а для пожаров приняли допущение, что отпад уже включен в оценки крупных древесных остатков на основе “базы данных” по биологической продуктивности лесных насаждений и обобщенных результатов учета сухостоя и валежной древесины по лесным предприятиям и публикациям в специальной литературе. Эта база данных может учесть только средние запасы валежной древесины от усредненных пожарных нарушений. В таком случае, эффект от крупных пожаров может быть недоучтен.

Все эти факторы могут привести к завышению годового баланса углерода на территории лесов по методике ИАА и требуют дополнительного рассмотрения.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА БЮДЖЕТА УГЛЕРОДА ЛЕСОВ (РОБУЛ)

В настоящее время для расчета углеродного баланса на российских лесных территориях в рамках национального кадастра применяется методика региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ), разработанная в Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН)⁵.

Данная система оценки соответствует руководящим принципам и указаниям МГЭИК и с 2011 г. используется для предоставления в секретариат РКИК ООН отчетности по лесному сектору в виде Национальных докладов о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом (Национальный ..., 2021). Кроме того, на ней основаны Методические указания Минприроды России 2017 г. по количественному определению объема поглощения парниковых газов⁶. Результаты РОБУЛ также сопоставимы с оценками канадской модели CBM-CFS3 (Замолодчиков и др., 2014а).

Согласно результатам последней инвентаризации, в 2020 г. нетто-поглощение в управляемых лесах Российской Федерации (691.2 млн га) составило 648.9 Мт CO₂ (Национальный ..., 2022).

Источником данных для РОБУЛ являются данные государственного учета лесного фонда

⁵ <http://old.cepl.rssi.ru/regional.htm> (дата обращения 05.10.2022).

⁶ Распоряжение Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30 июня 2017 г. № 20-р “О методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов” (дата обращения 24.07.2022).

(ГУЛФ) и, с 2007 г., данные государственного лесного реестра (ГЛР), содержащего исходную информацию о лесных площадях и запасах древесины, дифференцированных по породам деревьев, возрастным группам и регионам. Ведение и хранение ГУЛФ и ГЛР в настоящее время осуществляется ФГУП “Рослесинфорг”. Подробное описание методики, в том числе основные уравнения, табличные параметры для региональной оценки и программное обеспечение, представленное в формате Microsoft Excel, размещены в открытом доступе на сайте ЦЭПЛ РАН⁷, а также представлены в главе 6 Национального доклада о кадастре (Национальный ..., 2022).

В первых работах по оценке углеродного баланса разработчики методики применяли подход МГЭИК “по разности запасов”. Однако после реформ национальной системы лесопользования, связанных с переходом на ежегодные данные в рамках ГЛР, этот метод перестал давать корректные результаты ввиду межгодовых изменений в общей площади управляемых лесов (Замолотчиков и др., 2011). В таких условиях корректным является применение метода по потокам парниковых газов, который в настоящее время заложен в основу РОБУЛ. Тем не менее, в некоторых работах РОБУЛ все еще характеризуется как методика, использующая подход “по разности запасов” (Филипчук и др., 2017б).

Таким образом, методика РОБУЛ использует метод “баланса потоков”, возможно, в сочетании с некоторыми элементами метода “по разности запасов”. Как отмечалось выше, такой подход может быть эффективным для стран, использующих третий методологический уровень (Newell and Vos, 2012).

В 2018 методика РОБУЛ была усовершенствована. В частности, программное обеспечение было переписано с Excel на Delphi. Самое существенное изменение подхода коснулось подхода к учету поглощения в перестойных насаждениях: в этом классе были выделены дополнительные группы и учтено поглощение. Кроме того, решена проблема с ошибками в агрегировании данных по породам и возрастам: раньше одна порода была представлена несколькими записями с разными интервалами возраста. Также были приняты модернизированные конверсионные коэффициенты. Новая версия методики получила название РОБУЛ-М (Корзухин, Коротков, 2018).

В качестве безусловного достоинства этого методического подхода следует отметить его взаимосвязь с ежегодными данными по характеристикам и состоянию древостоев в рамках ГЛР. По сути, РОБУЛ — это расчетная оболочка для перевода

данных ГЛР в оценки изменений запасов углерода в пулах лесных экосистем.

Недостатки методики РОБУЛ также связаны с особенностями российской статистики и ограничением в детальности данных: вместо классов возраста используются группы возраста, что снижает достоверность оценок. Кроме того, отсутствие в ГЛР данных по бонитету тех или иных насаждений не позволяет учесть этот важный для оценки годового прироста показатель экосистем.

Следует также отметить ограничения в оценках изменений запасов углерода в пулах лесной подстилки и почвы в методике РОБУЛ, которая оперирует средними коэффициентами единовременных потерь углерода в результате нарушений (в том числе рубки, пожары) и его постепенного накопления в течение времени восстановления лесной экосистемы. При отсутствии нарушений запасы углерода подстилки и почвы в лесах приняты равными нулю, что не всегда точно отражает динамику углерода в этих пулах и требует уточнения по эмпирическим данным.

Для оценки расходной части углеродного баланса лесов в национальном кадастре используют подходы по суммарным площадям гарей, которые при делении на время их зарастания (количество лет) позволяют оценить усредненную площадь деструктивных пожаров в данном году. Учитывая, что таким образом потери углерода, по сути, представляют собой усредненные величины за 20–25 лет (в зависимости от скорости зарастания гарей по регионам страны), результаты оценки баланса углерода не демонстрируют синхронизации с крупными пожарными нарушениями, например, 2008 или 2012 гг. (Коротков, Романовская, 2022). Эти оценки требуют детального рассмотрения и усовершенствования на основе данных ДЗЗ.

МЕТОДИКА ВСЕРОССИЙСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ЛЕСОВОДСТВА И МЕХАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Методика, разработанная во Всероссийском научно-исследовательском институте лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ), дает значительно большие оценки баланса углерода, чем РОБУЛ (Кокорин, Луговая, 2018; Филипчук и др., 2017б). Первые расчеты были проведены еще в начале 2007–2011 гг. (Моисеев, 2007), но основное обсуждение и сравнение с официальными расчетами поглощения пришлось на 2016–2017 гг.⁸ Согласно последним данным, полученным с применением методики ВНИИЛМ ежегодное нетто-поглощение в россий-

⁷ <http://old.cepl.rssi.ru/regional.htm> (дата обращения 24.07.2022).

⁸ Роль лесов в Парижском соглашении ЦЭПЛ РАН (rssi.ru) (дата обращения 24.07.2022).

ских управляемых лесах составляет 615–619 млн т С, или 2 млрд т CO_2 в год (Федоров, 2017). Это в 3–3.5 раза больше, чем оценка по РОБУЛ.

Методика ВНИИЛМ до 2020 г. применялась для составления отчетности РФ для Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) (Малышева и др., 2017). Разработчики также утверждают, что она разработана в соответствии с международными правовыми документами и соответствует требованиям и рекомендациям МГЭИК, хотя и не проходила соответствующую экспертизу (Филипчук и др., 2017а). Тем не менее, некоторые исследования отмечают, что в методике ВНИИЛМ не соблюдается принцип сохранения массы вещества и что она не может быть верифицирована экспертами МГЭИК для использования в национальной отчетности по парниковым газам (Романовская и др., 2018). Так, по данным авторов допускается одновременно снижение запасов древесины в лесах и увеличение объема ежегодного прироста (Федоров и др., 2011).

Основу методики ВНИИЛМ составляет схожий с РОБУЛ алгоритм: расчет запаса углерода по стандартным пулам (надземная фитомасса, подземная фитомасса, мертвая древесина, лесная подстилка и органическое вещество почвы), годового изменения запасов углерода (Net Ecosystem Production, NEP), потерь углерода и оценки общего баланса (Net Biome Production, NBP). Пересчет запасов стволовой древесины в фитомассу производится с использованием конверсионных коэффициентов для основных древесных пород и групп возраста в зависимости от лесорастительного районирования⁹.

Подробное руководство по методике ВНИИЛМ, включающее используемые коэффициенты и полный список уравнений, в открытом доступе не опубликовано, однако в статьях по ней приводятся ссылки на применяемые уравнения Руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК для сектора ЗИЗЛХ (Малышева и др., 2017).

Таким образом, методика ВНИИЛМ в отношении оценки изменения запасов использует первый метод, рекомендованный МГЭИК по умолчанию, т.е. метод поступлений-потерь (gain-loss method). Кроме того, эта методика ориентируется на большее время осреднения поглощения, рассчитывая среднее поглощение за время жизни древостоя (Кокорин, Луговая, 2018), что, в свою очередь, противоречит принципам МГЭИК, которые требуют определения ежегодной оценки, а не средней. Как и РОБУЛ, методика

ВНИИЛМ использует статистику ГЛР и ГУЛФ в качестве исходных данных (Филипчук и др., 2017а).

Как уже отмечалось выше, существуют различные точки зрения относительно секвестрационной способности старовозрастных лесов. Разработчики методики ВНИИЛМ придерживаются мнения, что такие леса продолжают накапливать углерод (Филипчук и др., 2017б). Так, по некоторым оценкам, они связывают около 10% от общего количества, поглощаемого лесами CO_2 (Luysaert et al., 2008). Кроме того, в методике ВНИИЛМ предлагается не учитывать выбросы CO_2 от катастрофических пожаров в управляемых лесах, так как такие пожары можно отнести к природным, а в указаниях МГЭИК учитываются лишь эмиссии антропогенного происхождения (Кокорин, Луговая, 2018). Стоит отметить, что на практике до 90% пожаров в лесах РФ происходит по антропогенным причинам, поэтому трудно согласиться с предложенной дефиницией лесных пожаров, как природных. Кроме того, согласно рекомендациям МГЭИК на территории управляемых земель учитываются все потоки парниковых газов (как природного, так и антропогенного характера), а на неуправляемых — ни те, ни другие.

Важнейшим аспектом для сопоставления результатов оценки по разным методикам является площадь территорий, подлежащих оценке. Согласно Руководящим указаниям МГЭИК оценка баланса углерода проводится только для управляемых лесов, однако страны сами определяют, какие территории можно отнести к управляемым. В состав управляемых лесов России согласно Докладу об установленном количестве выбросов (2007) входят лесные земли лесного фонда (за исключением резервных лесов). В состав управляемых лесных земель также включены особо охраняемые природные территории (ООПТ), земли обороны и безопасности, а также городские леса (Национальный ..., 2020). Однако разработчики методики ВНИИЛМ предлагают включить в категорию управляемых также резервные леса, так как на них тоже осуществляется антропогенная деятельность, а также сельскохозяйственные земли, заросшие лесом, лесные земли промышленности и иного назначения, на которых было проведено лесоустройство (Филипчук и др., 2017б). При этом остается неясным, какая именно антропогенная деятельность осуществляется в регулярном режиме на территории резервных лесов, которая приводила бы к управлению поглощением и выбросами парниковых газов. Ясно, что лесоустройство таким видом деятельности являться не может, а авиационный мониторинг не предполагает немедленного и обязательного тушения очагов лесных пожаров.

⁹ Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и перечня лесных районов Российской Федерации. Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 с изменениями от 23.12.2015 № 569 и 21.03.2016 № 83 (дата обращения 24.07.2022).

Таблица 1. Сравнение методик оценки углеродного баланса в лесных экосистемах

Критерий сравнения	ИЗИС ИАСА	СВМ-CFS3	РОБУЛ/РОБУЛ М	ВНИИЛМ
Применение результатов на международном уровне	Научная оценка	РКИК ООН для Канады и других стран	Отчетность РФ в РКИК ООН (Национальный кадастр ПГ)	Отчетность РФ в FAO до 2020 г.
Применение результатов на национальном уровне	Научная оценка, перспективная система мониторинга углерода в лесах	Научные исследования, лесо-климатические проекты	Стратегия низкоуглеродного развития РФ и сопутствующие документы	Нет данных
Следование руководящим принципам МГЭИК	Нет	Да	Да	Нет
Применяемые углеродные пулы и фракции	Живая фитомасса, мертвая древесина, почва (включая подстилку)	21 фракция	Живая фитомасса, мертвая древесина, подстилка, почва	Живая фитомасса, мертвая древесина, подстилка, почва
Метод балансовой оценки МГЭИК	Не соответствует	Сочетание “разности запасов” и “поступлений-потерь”	“Поступления-потери”	“Поступления-потери”
Управляемые леса	Относит все леса РФ к управляемым	На основе карты управляемых лесов Канады	691 млн га из 897 млн га лесных земель	Относит почти все леса лесного фонда РФ к управляемым
Тип расчета поглощения	“Полуэмпирический” метод оценки чистой первичной продукции, базирующийся на моделировании полной продуктивности лесных экосистем по компонентам фитомассы	Нет данных	Ежегодное поглощение по классу возраста	Среднее поглощения за время жизни древостоя
Расчет лесопожарных эмиссий	По данным ДДЗ в комплексе со средними показателями запасов горючих материалов и их потерь	ДДЗ	По площади гарей, по данным ГЛР	По площади гарей, по данным ГЛР
Источник данных	ДДЗ/ГИС, ГЛР	База данных по Канаде	ГУЛФ/ГЛР	ГУЛФ/ГЛР

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты сравнения основных методик оценки поглощения лесами приведены в табл. 1.

В результате сравнения основных методик были выделены следующие различия, которые можно считать ключевыми.

1) Важное значение имеет соответствие международным требованиям и возможность официального применения результатов расчетов. Если

методика ИАСА носит скорее исследовательский характер и направлена на комплексное изучение углеродного цикла в лесных экосистемах, то методики СВМ-CFS3, РОБУЛ и ВНИИЛМ ориентированы, прежде всего, на применение руководящих указаний МГЭИК. При этом методика ВНИИЛМ, хотя и использовалась для отчетности FAO, не вполне соответствует требованиям РКИК ООН и по этой причине не может служить основой для предоставления официальной ин-

формации о балансе углерода в российских лесах без верификации со стороны экспертов РКИК ООН.

2) Различные методики предлагают разное деление по фракциям пулов углерода, но в целом они покрывают все рекомендуемые МГЭИК пулы. Разделение в методиках РОБУЛ и ВНИИЛМ практически идентично и полностью соответствует международным рекомендациям. В СВМ-CFS3 используется более подробная дифференциация, включающая различные части наземной фитомассы и разные типы подстилки, что не противоречит указаниям МГЭИК. В методике ИААА подстилка является частью пула почвы. Однако в целом, изучаемые методики охватывают все минимально необходимые углеродные лесные пулы. Особенности методик также является разница в потоковых расчетах изменений запасов углерода подстилки и почвы (например, СВМ-CFS3) или принятых усредненных коэффициентах для оценки динамики пула подстилки и почвы (РОБУЛ, ВНИИЛМ).

3) Ключевым различием для методик, соответствующим рекомендациям МГЭИК, является вопрос применения подхода “поступлений-потерь”, либо подхода “по разности запасов”. СВМ-CFS3 сочетает эти подходы, методика ВНИИЛМ использует метод “поступлений-потерь”. В основе РОБУЛ также лежит подход “поступлений-потерь”, но, возможно, также имеются элементы “по разности запасов”.

4) Вопрос выбора того или иного метода прежде всего связан с точностью и надежностью национальной лесной инвентаризации. Именно этот критерий предлагается МГЭИК. С одной стороны, Российская Федерация обладает развитой системой управления и инвентаризации лесов, что позволяет применять наивысший методологический уровень. С другой стороны, информация о лесах во многом неактуальна и превышает рекомендуемые МГЭИК 10 лет. Кроме того, за последние 20 лет менялась сама инвентаризация, был произведен переход с ГУЛФ на ГЛР. Поэтому, в национальной отчетности справедливо используется метод “поступлений-потерь”. Однако, в других методиках, например СВМ-CFS3, применяется сочетание подходов. Относительно методик РОБУЛ и ВНИИЛМ стоит отметить другие важные различия: первая оценивает ежегодное поглощение по группам возраста, а вторая рассчитывает среднее поглощение за время жизни древостоя, что не соответствует требованиям МГЭИК.

5) В рассмотренных методиках учитываются различные лесные площади, и авторы демонстрируют разное отношение к вопросу управляемости лесов. Оценки ИААА не следуют логике МГЭИК по учету *только* антропогенных потоков и оцени-

вают потоки углерода во всех лесах, независимо от их управляемости. СВМ-CFS3 учитывает потоки углерода только в управляемых лесах. РОБУЛ следует указаниям МГЭИК, а также заявленной в Установочном докладе официальной позиции России относительно управляемости лесов и не учитывает резервные леса и другие неуправляемые леса. Стоит подчеркнуть, что согласно МГЭИК, потоки и запасы в неуправляемых лесах могут учитываться, но только в случае, если такие леса переводятся в управляемые, при условии осуществления в них дополнительных систематических действий. Например, в Национальный кадастр РФ 2021 г. были включены участки леса площадью 505 тыс. га в Красноярском крае, где компания РУСАЛ проводила проект по расширению зоны авиапатрулирования для предотвращения и тушения лесных пожаров (Национальный ..., 2021).

В целом, вопрос отнесения лесов к управляемым достаточно сложен. МГЭИК в качестве критерия предлагает наличие систематической антропогенной деятельности, однако не уточняет, что именно считается систематическим. В Российской Федерации обсуждение управляемости касается, в первую очередь, резервных лесов. С одной стороны, в них проводится лесоустройство и осуществляются авиационные или иные работы по охране от пожаров (Филипчук и др., 2017б). С другой стороны, среди специалистов идет дискуссия о том, можно ли это считать полноценной систематической деятельностью, так как пожары на таких, в основном труднодоступных, территориях тушатся в основном только в случае угрозы населению (Романовская и др., 2018). В 2021 г. в законодательстве РФ произошли значительные изменения относительно резервных лесов: согласно Распоряжению Минприроды № 3-р от 20.01.2021 оценка поглощения и выбросов парниковых газов проводится в том числе и для резервных лесов¹⁰. В национальной отчетности эта поправка учтена только в отношении резервных лесов из проекта РУСАЛа. Остальные площади резервных лесов могут быть отнесены к управляемым лесам, например, при условии выполнения на них климатических проектов. По мнению авторов статьи, минимальным критерием управляемости лесов в Российской Федерации должна стать функционирующая система обнаружения и тушения пожаров.

6) Ключевым вопросом в оценке углеродного баланса с помощью различных методик является

¹⁰Распоряжение Минприроды России от 20.01.2021 № 3-р “О внесении изменений в методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов, утвержденные распоряжением Минприроды России от 30 июня 2017 г. № 20-р” (дата обращения 24.07.2022).

также достоверность и актуальность источников данных. СВМ-CFS3 использует собственные базы данных по Канаде, ИЗИС ПАСА сочетает методы ДЗЗ с данными ГЛР и авторскими моделями. Методики РОБУЛ и ВНИИЛМ используют официальные данные ГЛР и построены на основе авторских моделей поглощений и эмиссий лесами. Однако, исходные данные ГЛР для методик РОБУЛ и ВНИИЛМ, не являются полностью актуальными и достоверными (Кокорин, Луговая, 2018). Так, согласно Счетной палате РФ, возраст данных лесоустройства превышал 10 лет на 84.4% площади лесного фонда, а для лесов на землях обороны и ООПТ — на 91.1 и 68.7% площади, соответственно¹¹. Средний возраст данных лесоустройства, лежащих в основе ГЛР, составил около 20 лет (Кокорин, Луговая, 2018). Это связано с тем, что лесоустройство проводится, прежде всего, для арендованных участков леса (их площадь составляет порядка 230 млн га в 2021 г.), а также с недостатком бюджетного финансирования. Это приводит к систематическому занижению запасов древесины, некорректной оценке породного и возрастного состава древостоев. Если строго следовать требованию МГЭИК к периодичности инвентаризации лесов каждые 10 лет, то данные ГЛР нельзя признать достоверными. Тем не менее, МГЭИК принимает национальные отчеты РФ, построенные на данных ГЛР, ввиду отсутствия альтернативных официальных источников информации о лесах.

Более надежной основой для получения исходных данных может служить государственная инвентаризация лесов (ГИЛ). Международный опыт показывает, что аналоги ГИЛ в других странах представляют надежную информационную основу для управления лесами и подготовки отчетности по парниковым газам (Tomppo et al., 2011). ГИЛ использует подходы к сбору данных, определяемые порядком проведения государственной инвентаризации лесов¹² и Методическими рекомендациями по проведению государственной инвентаризации лесов¹³. Первый цикл ГИЛ проводился в 2007–2020 гг. С 2021 г. начался

второй цикл, который продлится до 2030 г. включительно. ГИЛ сочетает полевые методы на постоянных пробных площадях с данными ДЗЗ. Хотя у первого цикла ГИЛ отмечаются некоторые недостатки (Кокорин, Луговая, 2018), эта технология позволила обновить и уточнить информацию по российским лесам. Первые результаты поглощения и запасов углерода. В исследовании 2021 г., сочетающем полученные данные ГИЛ с ДЗЗ подсчитано, что российские леса содержат 111 млрд м³ древесины по состоянию на 2014 г., что на 39% выше официальных данных (Schepaschenko et al., 2021). Следует отметить, что полноценно использовать данные ГИЛ в национальном кадастре можно будет по завершении второго цикла. Материалы только одного цикла сложно интерпретировать, поскольку для этого необходимы данные по *изменению* запасов, а исследования ГИЛ выполнены пока только для одного года рассматриваемого периода. При этом годы учета для разных участков отличаются.

7) Оценки по РОБУЛ и ВНИИЛМ занижают объемы лесопожарных эмиссий углерода ввиду того, что для их расчета используются данные ГЛР по гарям. Гари образуются в результате верховых или низовых пожаров высокой интенсивности, в то же время как низовые пожары слабой и средней интенсивности, охватывающие до 70–80% площадей, пройденных пожарами, не приводят к образованию гарей. По данным Замолотчикова с соавт. (2014б), соотношение между площадью гарей и площадью, пройденной пожарами, составляет 1 : 3. Это означает, что расчет лесопожарных эмиссий на основе данных ГЛР существенно занижает объем таких эмиссий, по сравнению с данными ДДЗ, например, Информационной системы дистанционного мониторинга (ИСДМ) Рослесхоза. В отличие от РОБУЛ и ВНИИЛМ, методика ИЗИС позволяет гораздо точнее оценить объем лесопожарных эмиссий, так как использует данные ДЗЗ.

Таким образом, переход на использование данных ГИЛ в методиках РОБУЛ и ВНИИЛМ, скорее всего, приведет к повышению общего объема поглощения российскими лесами, а переход на использование данных ИСДМ Рослесхоза по площадям, пройденным пожарами, приведет к существенному увеличению объема лесопожарных эмиссий. Согласно нашим данным, общий баланс ПГ в лесах при этом может увеличиться с 619 (Национальный ..., 2021) до 701 млн т CO₂-экв. в год, при условии сохранения объема заготовки леса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования проанализированы данные по потокам и запасам углерода в лесных эко-

¹¹ Отчет о результатах контрольного мероприятия “Проверка эффективности организации работ и расходования средств на проведение лесоустройства, выделенных из бюджетов бюджетной системы Российской Федерации и иных источников в 2015–2019 г.” (дата обращения 24.07.2022).

¹² Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27.09.2021 № 686 “Об утверждении Порядка проведения государственной инвентаризации лесов” (Зарегистрирован 30.12.2021 № 66748) (дата обращения 24.07.2022).

¹³ Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов. Утверждены приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 10.11.2011 № 472 (ред. от 07.05.2013 № 135) (дата обращения 24.07.2022).

системах РФ, основные принципы и подходы методологии МГЭИК, а также четыре наиболее часто используемые методики оценки углеродного баланса: ИЗИС ИАСА (Австрия), СВМ-CFS3 (Лесная служба Канады), РОБУЛ (Россия), ВНИИЛМ (Россия). В результате были выделены следующие критерии, обуславливающие применимость оценок:

1. возможность применения результатов оценки для формирования национальной отчетности;
2. выбор между двумя основными подходами МГЭИК к оценке изменения запасов углерода в пулах: методы “поступлений-потерь” и “по разности запасов”;
3. учет управляемых лесов и критерий управляемости;
4. актуальность исходных данных;
5. достоверность исходных данных.

Исходя из проведенного анализа, можно предложить следующие рекомендации по улучшению точности оценок и использованию методик.

1) Национальная оценка баланса парниковых газов в лесах имеет не только научное и управленческое, но и международно-политическое значение, поскольку вносит вклад в смягчение глобальных климатических изменений, а также выступает в качестве объективного подтверждения признания этого вклада другими странами. Поэтому любая методика должна обязательно соответствовать требованиям и рекомендациям МГЭИК.

2) Следует с осторожностью подходить к изменениям в оценке углеродного баланса. Осуществление Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. должно обеспечиваться не столько изменением методологии, сколько реальными мерами по защите лесов: снижением горимости, осуществлением лесоклиматических проектов, лесоразведением и лесовосстановлением. Недопустимо, чтобы достижение целей Стратегии обеспечивалось лишь корректировкой способов расчета: любые поправки должны сопровождаться поправками в целях. Тем более, что изменение климата может угрожать лесным экосистемам через увеличение числа пожаров и привести к уменьшению поглощения CO_2 .

3) Научная дискуссия играет важную роль в развитии знаний об углеродном цикле и в постоянном совершенствовании методик. Так, например, в результате обсуждений в РОБУЛ были внесены уточнения по поглощению CO_2 перестойными насаждениями.

4) Для учета управляемых земель рекомендует-ся подробнее изучить системы управления в резервных лесах и разделить их на управляемые и неуправляемые в зависимости от проводимой в

них деятельности. Кроме того, этот вопрос следует поднять на международном уровне — на данный момент руководства МГЭИК не дают подробных критериев выделения управляемых лесов и не суммируют международный опыт в этой области.

5) Большой проблемой в оценке углеродного баланса Российской Федерации является недостаток актуальных исходных данных. Независимо от применяемой методики, это приводит к неверному представлению о состоянии российских лесов. Применение данных ДЗЗ и совершенствование ГИЛ может способствовать решению этой проблемы.

В целом, применяемая в Российской Федерации на настоящий момент официальная методика является удовлетворительной и соответствует международным представлениям о запасах и потоках углерода в лесах. Более важным вопросом является не выбор определенной методики, а подход к ее применению на основе конкретных данных, на которых основываются оценки. Одним из главных вызовов в этой области для Российской Федерации является более частое обновление и повышение качества информации о лесах. Международное и научное сотрудничество в этой области значительно способствует достижению этой цели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16–28.
- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Курц В.А. Влияние объемов лесопользования на углеродный баланс лесов России: прогнозный анализ по модели СВМ-CFS3 // Тр. СПб НИИЛХ. 2014. № 1. С. 5–18.
- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Курц В.А. Управление балансом углерода лесов России: прошлое, настоящее и будущее // Устойчивое лесопользование. 2014. № 2 (39). С. 23–31.
- Кокорин А.О., Луговая Д.Л. Поглощение CO_2 лесами России в контексте Парижского соглашения // Устойчивое лесопользование. 2018. № 2 (54). С. 13–18.
- Корзухин М.Д., Коротков В.Н. Модификация модели РОБУЛ для расчета углеродного баланса лесов России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. Т. 3. С. 30–53.
- Коротков В.Н., Романовская А.А. Оценка потерь углерода в результате гибели древостоев от пожаров в национальном кадастре парниковых газов: необходимость использования данных наземного и дистанционного мониторинга // Научные основы

- устойчивого управления лесами, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН: Материалы Всерос. науч. конф. с междунаrod. уч. (25–29 апреля 2022 г.). М.: ЦЭПЛ РАН, 2022. С. 284–286.
- Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 204 с.
- Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Филипчук А.Н., Золина Т.А. Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчетов годичного депонирования углерода // Лесной вестн. 2017. Т. 21. № 1. С. 4–13. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-1-4-13>
- МГЭИК. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г. Подготовлены Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов / отв. ред. С. Игглестон, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара, К. Танабе. Хаяма: ИГЕС, 2006. Т. 1–5.
- Моисеев Б.Н. Баланс органического углерода в лесах и растительном покрове России // Лесное хозяйство. 2007. № 2. С. 13–16.
- Национальный докл. о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2018 гг. Росгидромет, 2020. Ч. 1.
- Национальный докл. о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2019 гг. Росгидромет, 2021. Ч. 1.
- Национальный докл. о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2021 гг. Росгидромет, 2022. Ч. 1.
- Романовская А.А., Трунов А.А., Коротков В.Н., Карabanь Р.Т. Проблема учета поглощающей способности лесов России в Парижском соглашении // Лесоведение. 2018. № 5. С. 323–334. <https://doi.org/10.1134/S0024114818050066>
- Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства / отв. ред. Д. Пенман, М. Гитарский, Т. Хираиши и др. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Женева, 2003. 649 с.
- Федоров Б.Г. Российский углеродный баланс: монография. М.: Научный Консультант, 2017. 82 с.
- Федоров Б.Г., Моисеев Б.Н., Синяк Ю.В. Поглощающая способность лесов России и выбросы углекислого газа энергетическими объектами // Проблемы прогнозирования. 2011. № 3. С. 127–142.
- Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Малышева Н.В. Методика учета поглощения CO₂ лесами Российской Федерации // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: матер. Второй Международ. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 24–26 мая) / отв. ред. Гедьо В.М. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. Т. 2. С. 155–158.
- Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Малышева Н.В. Новые аспекты оценки поглощения парниковых газов лесами России в контексте Парижского соглашения об изменении климата // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2017. № 1. С. 88–98.
- Швиденко А.З., Шенященко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журн. 2014. № 1. С. 69–92.
- Grassi G., Pilli R., House J., Federici S., Kurz W.A. Science-based approach for credible accounting of mitigation in managed forests // Carbon Balance Manage. 2018. Vol. 13. № 8. <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0096-2>
- IPCC, 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands / T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda, T.G. Troxler (Eds.). IPCC, Switzerland.
- IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / E.C. Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, J. Baasansuren, M. Fukuda, S. Ngarize, A. Osako, Y. Pyrozhenko, P. Shermanau, S. Federici (Eds.). IPCC, Switzerland.
- Kurz W.A., Birdsey R.A., Mascorro V.S., Greenberg D., Dai Z., Ogunn M., Colditz R. 2016. Integrated Modeling and Assessment of North American Forest Carbon Dynamics Technical Report: Tools for monitoring, reporting and projecting forest greenhouse gas emissions and removals. Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation, 2016. 125 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3377.5129>
- Kurz W.A., Dymond C.C., White T. et al. CBM CFS3: a model of carbon dynamics in forestry and land use change implementing IPCC standards // Ecological Modelling. 2009. Vol. 220. № 4. P. 480–504. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.10.018>
- Luyssaert S., Schulze E.D., Burner A., Knohl A., Hessenmuller D., Law B.E., Ciais P., Grace J. Old-growth forests as global carbon sinks // Nature. 2008. Vol. 455. P. 213–215. <https://doi.org/10.1038/nature07276>
- Mukhortova L., Schepaschenko D., Shvidenko A., Mccallum I. A system for heterotrophic soil respiration assessment of Russian land // International conference IBFRA. Boreal Forests in a Changing World: Challenges and Needs for Action (Krasnoyarsk, 15–21 August), 2011. P. 86–90.
- Newell J.P., Vos R.O. Accounting for forest carbon pool dynamics in product carbon footprints: Challenges and opportunities // Environ. Impact Asses. Rev. 2012. Vol. 37. P. 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.03.005>
- Operational-Scale Carbon Budget Model off the Canadian Forest Sector (CBM-CGS3) Ver. 1.0 / S.J. Kull, W.A. Kurz, G.J. Rampley, G.E. Banfield, R.K. Schivatcheva, M.J. Apps (Eds.). Northern Forestry Centre, 2010. P. 112.

- Schepaschenko D. et al.* Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. № 1. P. 1–7.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
- Shvidenko A., Nilsson S.* A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998 // *Tellus*. 2003. Vol. 55B. P. 391–415.
<https://doi.org/10.3402/tellusb.v55i2.16722>
- Shvidenko A., Nilsson S.* Dynamics of Russian forests and the carbon budget in 1961–1998: an assessment based on longterm forest inventory data // *Climatic Change*. 2002. Vol. 55. P. 5–37.
<https://doi.org/10.1023/A:1020243304744>
- Tomppo E., Heikkinen J., Henttonen H., Ihalainen A., Kattila M., Makela H., Tuomainen T., Vainikainen N.* Designing and Conducting a Forest Inventory – case: 9th National Forest Inventory of Finland. London–New York: Springer, 2011. P. 270.
<https://doi.org/10.1007/978-94-007-1652-0>

Comparative Analysis and Assessment of Methodologies Applied in the Russian Federation for Calculating Greenhouse Gas Absorption by Forest Ecosystems

D. D. Sorokina¹ *, A. V. Ptichnikov², and A. A. Romanovskaya¹

¹*Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia*

²*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*e-mail: sorokina.di.dm@gmail.com

The assessment of the forest carbon balance is of great importance for the building of the climate policy of the Russian Federation at both national and international levels. At the same time, the results of such assessments conducted by different scientific groups vary depending on the approaches and methodologies used. This study considers the key systems for assessing the carbon balance of forest ecosystems in the Russian Federation: Integrated Land Information System, IZIS (International Institute for Applied Systems Analysis, Austria), The Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector, CBM-CFS (Canada), Regional Forest Carbon Budget Assessment, ROBUL (Russia), the methodology of the All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry (Russia). The methodologies are compared with respect to their compliance with the IPCC requirements. The study identifies the individual characteristics of the methodologies and their application, and proposes recommendations for improving the accuracy of carbon balance estimates. The main key differences between the estimates of different scientific groups, include: compliance with the recommendations of IPCC; selection between the methods of “gain–loss” and “stock–difference”; approach to the identification of managed forests; calculation method of forest fire emissions; sources of initial data, and their reliability. The study notes the importance of scientific discussion and the necessity of compliance of the methodologies with international standards, emphasizes the problem of outdated initial data and underestimation of forest fire emissions, regardless of the chosen methodology. In general, the currently used methodology satisfactorily estimates forest carbon balance. It is recommended to improve the estimates based on remote sensing data and the second cycle of the State Forest Inventory (SFI). The implementation of the Strategy of socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050 should be provided not only by changes in the method of calculating the carbon balance, but rather through real forest protection measures. Any significant adjustment to the methodology must be accompanied by an adjustment to national climate goals.

Keywords: forest carbon budget, absorption capacity of Russian ecosystems, Paris Agreement, climate change, greenhouse gases

REFERENCES

- Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V. *Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii* [Satellite Mapping of the Vegetation Cover of Russia]. Moscow: IKI RAS Publ., 2016. 208 p.
- Fedorov B.G. *Rossiiskii uglerodnyi balans: monografiya* [Russian Carbon Balance: Monograph]. Moscow: Nauch. Konsul'tant Publ., 2017.
- Fedorov B.G., Moiseev B.N., Sinyak Yu.V. Absorption capacity of Russian forests and carbon dioxide emissions from energy facilities. *Probl. Prognoz.*, 2011, no. 3, pp. 127–142. (In Russ.).
- Filipchuk A.N., Moiseev B.N., Malysheva N.V. Methodology for accounting for CO₂ uptake by forests of the Russian Federation. In *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: materialy vtoroi mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., S.-Peterb., 24–26 maya 2017 g. Tom 2* [Russian Forests: Politics, Industry, Science, Education: 2nd Int. Sci.-Tech. Conf., S.-Peterb., May 24–26, 2017. Vol. 2]. Ged'o V.M., Ed. St.-Peterb.: SPbGLTU Publ., 2017, pp. 155–158. (In Russ.).
- Filipchuk A.N., Moiseev B.N., Malysheva N.V. New aspects of assessment of absorption of greenhouse gases the Russian forests in the context of the Paris agreement on climate change. *Lesokhoz. Inform.: Elektron. Setev. Zh.*, 2017, no. 1, pp. 88–98. (In Russ.).

- Grassi G., Pilli R., House J., Federici S., Kurz W.A. Science-based approach for credible accounting of mitigation in managed forests. *Carbon Balance Manage.*, 2018, vol. 13, no. 8. <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0096-2>
- IPCC, 2014. *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Wetlands*. Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M., Troxler T.G., Eds. Switzerland: IPCC, 2014.
- IPCC, 2019. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Buendia E.C., Tanabe K., Kranjc A., Baasansuren J., Fukuda M., Ngarize S., Osako A., Pyrozhenko Y., Sherman P., Federici S., Eds. Switzerland: IPCC, 2019.
- Kokorin A.O., Lugovaya D.L. Absorption of CO₂ by forests of Russia in the context of the Parisian agreement. *Ustoich. Lesopol.*, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 13–18. (In Russ.).
- Korotkov V.N., Romanovskaya A.A. Estimating carbon losses from stand mortality from fire in the national greenhouse gas inventory: the need to use ground and remote monitoring data. In *Nauchnye osnovy ustoichivogo upravleniya lesami, posvyashchennoi 30-letiyu TsEPL RAN. Mater. Vserossiiskoi nauch. konf. s mezhdun. uchastiem, 25–29 aprelya 2022 g.* [Scientific Foundations of Sustainable Forest Management, Dedicated to the 30th Anniversary of CEPF RAS. All-Russian Sci. Int. Conf., April 25–29, 2022]. Moscow: TsEPL RAN Publ., 2022, pp. 284–286. (In Russ.).
- Korzukhin M.D., Korotkov V.N. Modification of the RO-BUL model for calculating the carbon balance of forests in Russia. *Fundam. Priklad. Klimatol.*, 2018, vol. 3, pp. 30–53. (In Russ.).
- Kurnaev S.F. *Lesorastitel'noe raionirovanie SSSR* [Forest Zoning of the USSR]. Moscow: Nauka Publ., 1973.
- Kurz W.A., Birdsey R.A., Mascorro V.S., Greenberg D., Dai Z., Olguin M., Colditz R. *Integrated Modeling and Assessment of North American Forest Carbon Dynamics Technical Report: Tools for monitoring, reporting and projecting forest greenhouse gas emissions and removals*. Montreal: Commission for Environmental Cooperation, 2016. 125 p.
- Kurz W.A., Dymond C.C., White T., Stinson G., Shaw C.H., Rampley G.J., Smyth C., Simpson B.N., Neilson E.T., Trofymow J.A., Metsaranta J., Apps M.J. CBM-CFS3: a model of carbon dynamics in forestry and land use change implementing IPCC standards. *Ecol. Modelling*, 2009, vol. 220, no. 4, pp. 480–504. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.10.018>
- Luyssaert S., Schulze E.D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B.E., Ciais P., Grace J. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 2008, vol. 455, pp. 213–215. <https://doi.org/10.1038/nature07276>
- Malysheva N.V., Moiseev B.N., Filipchuk A.N., Zolina T.A. The methods of carbon balance estimation in forest ecosystems and their application to calculate the annual carbon sequestration. *Lesnoi Vestn.*, 2017, vol. 21, no. 1, pp. 4–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-1-4-13>
- MGEIK. *Rukovodnyashchie printsipy natsional'nykh inventarizatsii parnikovyykh gazov MGEIK 2006 g. Podgotovleny Programmoi MGEIK po natsional'nykh kadastram parnikovyykh gazov. Tom 1–5* [IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the IPCC National Greenhouse Gas Inventory Program. Vol. 1–5]. Iggleston S., Buendia L., Miva K., Ngara T., Tanabe K., Eds. Khayama: IGES Publ., 2006.
- Moiseev B.N. Balance of organic carbon in forests and plant cover of Russia. *Lesn. Khozyaistvo*, 2007, no. 2, pp. 13–16. (In Russ.).
- Mukhortova L., Schepaschenko D., Shvidenko A., Mccallum I. A system for heterotrophic soil respiration assessment of Russian land. In *International conference IBFRA. Boreal Forests in a Changing World: Challenges and Needs for Action*. Krasnoyarsk, 2011, pp. 86–90.
- Natsional'nyi doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorptsii poglotitelyami parnikovyykh gazov, ne reguliruemyykh Montreal'skim protokolom za 1990–2018 gg. Ch. 1 [National Report on the Inventory of Anthropogenic Emissions by Sources and Abstraction by Sinks of Greenhouse Gases not Controlled by the Montreal Protocol for 1990–2018. Part 1]. Moscow: Rosgidromet Publ., 2020.
- Natsional'nyi doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorptsii poglotitelyami parnikovyykh gazov, ne reguliruemyykh Montreal'skim protokolom za 1990–2019 gg. Ch. 1 [National Report on the Inventory of Anthropogenic Emissions by Sources and Abstraction by Sinks of Greenhouse Gases not Controlled by the Montreal Protocol for 1990–2019. Part 1]. Moscow: Rosgidromet Publ., 2021.
- Natsional'nyi doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorptsii poglotitelyami parnikovyykh gazov, ne reguliruemyykh Montreal'skim protokolom za 1990–2021 gg. Ch. 1 [National Report on the Inventory of Anthropogenic Emissions by Sources and Abstraction by Sinks of Greenhouse Gases not Controlled by the Montreal Protocol for 1990–2021. Part 1]. Moscow: Rosgidromet Publ., 2022.
- Newell J.P., Vos R.O. Accounting for forest carbon pool dynamics in product carbon footprints: Challenges and opportunities. *Environ. Impact Asses. Rev.*, 2012, vol. 37, pp. 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.03.005>
- Operational-Scale Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CGS3) Version 1.0. Kull S.J., Kurz W.A., Rampley G.J., Banfield G.E., Schivatcheva R.K., Apps M.J., Eds. Ottawa: Northern Forestry Centre, 2010. 112 p.
- Romanovskaya A.A., Trunov A.A., Korotkov V.N., Karaban' R.T. The problem of accounting for the absorptive capacity of Russian forests in the Paris Agreement. *Lesoved.*, 2018, no. 5, pp. 323–334. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0024114818050066>
- Rukovodnyashchie ukazaniya po effektivnoi praktike dlya zemlepol'zovaniya, izmenenii v zemlepol'zovanii i lesnogo khozyaistva. *Programma MGEIK po natsional'nykh kadastram parnikovyykh gazov* [Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. IPCC Program on National Greenhouse Gas Inventories]. Penman D., Gitarskii M., Khiraishi T. et al., Eds. Genève, 2003. 649 p.
- Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S., Karminov V., Ontikov P., Santoro M., See L., Kositsyn V.,

- Shvidenko A., Romanovskaya A., Korotkov V., Lesiv M., Bartalev S., Fritz S., Shchepashchenko M., Kraxner F. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 1–7.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
- Shvidenko A., Nilsson S. A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998. *Tellus*, 2003, vol. 55B, pp. 391–415.
<https://doi.org/10.3402/tellusb.v55i2.16722>
- Shvidenko A., Nilsson S. Dynamics of Russian forests and the carbon budget in 1961–1998: an assessment based on longterm forest inventory data. *Climatic Change*, 2002, vol. 55, pp. 5–37.
<https://doi.org/10.1023/A:1020243304744>
- Shvidenko A.Z., Shepashchenko D.G. Carbon budget of Russian forests. *Sibir. Lesnoi Zh.*, 2014. (In Russ.).
- Tomppo E., Heikkinen J., Henttonen N., Ihalainen A., Kattila M., Mäkelä N., Tuomainen T., Vainikainen N. *Designing and Conducting a Forest Inventory – case: 9th National Forest Inventory of Finland*. London; New York: Springer Publ., 2011. 270 p.
- Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Kraev G.N. Dynamics of the carbon budget of the forests of Russia in two last decades. *Lesoved.*, 2011. (In Russ.).
- Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Kurts V.A. Carbon balance management of Russian forests: Past, Present and Future. *Ustoich. Lesopol'zov.*, 2014. (In Russ.).
- Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Kurts V.A. Effect of forest management on the volume of the carbon balance of forests in Russia: predictive analysis on CBM-CFS3 model. In *Trudy SPbNIILH* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2014. (In Russ.).