

УДК 630.162.5+547.45

Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы

А. Н. Филипчук – Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заместитель директора, доктор сельскохозяйственных наук, Московская область, Пушкино, Российская Федерация

Н. В. Малышева – Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, главный научный сотрудник, кандидат географических наук, Московская область, Пушкино, Российская Федерация

Б. Н. Мусеев – кандидат сельскохозяйственных наук, Москва, Российская Федерация

В. В. Страхов – Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, Московская область, Пушкино, Российская Федерация

Ключевые слова: учёт выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы, состояние и использование лесных ресурсов, земли лесного фонда, использование лесов, лесовосстановление, охрана и защита лесов, лесной мониторинг.

В обзоре собраны и проанализированы опубликованные в открытой печати научные работы и применяемые методики учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы. Приведены характеристики особенностей лесов России, участвующих в выбросах и поглощении парниковых газов, которые необходимо учитывать при разработке методики учёта. Выполнен сравнительный анализ существующих оценок поглощения лесами России парниковых газов из атмосферы. Обоснованы методические подходы для разработки проекта Методического руководства по количественной оценке поглощения CO₂ в лесах Российской Федерации.

Для ссылок:
Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы [Электронный ресурс] / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Б. Н. Мусеев, В. В. Страхов // Лесохоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2016. - № 3. - С. 36–85. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

Участие Российской Федерации в международном переговорном процессе по изменению климата ставит задачу перехода к полному верифицированному учёту стоков и источников парниковых газов в лесах всей страны. Научные исследования последних лет показывают, что полная верифицированная оценка углеродного баланса всех лесов страны возможна, а ее погрешности могут быть оценены на уровне, приемлемом для принятия решений. Управление лесами, направленное на предотвращение растущей угрозы изменения климатической системы Земли, должно быть основано на адекватной информации об их экологическом потенциале.

Экологический потенциал лесов России обусловлен их ролью в стабилизации состава атмосферного воздуха и климата Земли в целом, смягчении последствий глобального потепления. Экосистемные услуги, прежде всего по преодолению последствий глобального потепления климата, в ближайшем будущем могут приобрести даже большую значимость, чем ресурсный потенциал лесов, ориентированный на удовлетворение потребностей в древесном сырье и иной недревесной продукции. Международные обязательства стимулируют научные разработки и практические шаги по гармонизации методик учета и систем оценки запасов и потоков углерода в лесах России.

История вопроса

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) основана в 1988 г. Всемирной метеорологической организацией (ВМО) и Программой организации Объединенных наций по окружающей среде (ЮНЕП).

МГЭИК ООН является международным органом, цель деятельности которого состоит в обобщении научных знаний, связанных с изменениями климата, подготовке на регулярной основе докладов о состоянии научных исследований в области изучения климатической системы Земли, разработке рекомендаций и наставлений по оценке выбросов и абсорбции парниковых газов

для проведения национальных инвентаризаций (кадастров) парниковых газов.

Основываясь на рекомендациях экспертов МГЭИК, разработано специальное международное соглашение – Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН). Рамочная конвенция подписана более 150 странами мира на конференции в Рио-де-Жанейро в 1992 г. (вступила в силу в 1994 г.). В настоящее время участниками Конвенции являются более 190 государств, включая все развитые страны и государства с переходной экономикой, а также большинство развивающихся стран. Россия тоже подписала и ратифицировала Конвенцию.

Главной целью Конвенции, согласно статье 2, является «стабилизация концентрации парниковых газов на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему. Этот уровень необходимо достичь в сроки, достаточные для естественной адаптации экосистем к изменению климата, позволяющие не ставить под угрозу производство продовольствия и обеспечивающие дальнейшее экономическое развитие на устойчивой основе». Среди основных принципов, которыми должны руководствоваться страны, подписавшие Конвенцию, – принцип общей, но дифференцированной ответственности. Развитые страны, являющиеся главным источником накопленных и текущих выбросов парниковых газов в атмосферу, несут основную ответственность за решение проблемы и должны снизить уровни выбросов по сравнению с показателем базового года. Кроме того, они обязаны оказывать финансовую и технологическую помощь развивающимся странам при переходе на новые, экологически чистые технологии. Для развивающихся стран, в связи с тем что уровень выбросов в них относительно невысок, предусмотрены лишь общие, а не количественные обязательства сокращения выбросов. Странам с переходной экономикой по сравнению с развитыми странами предоставлены некоторые льготы, преимущественно касающиеся выбора базового года для выполнения обязательств. Для России в качестве базового установлен 1990 г.

Главным недостатком Рамочной конвенции стало отсутствие юридических обязательств государств по количественному сокращению выбросов. Кроме того, обязательства Конвенции ограничивались 2000 г. и были признаны недостаточными для достижения ее целей.

Для практической реализации положений Рамочной конвенции и исправления ее недостатков в 1997 г. на 3-й Конференции сторон был принят Киотский протокол (Киото, Япония). Рамочная конвенция стала правовой основой Киотского протокола, который наследует принципы, заложенные в ее основу.

В Киотском протоколе установлены показатели снижения объема выбросов парниковых газов. В соответствии с принципом общей, но дифференцированной ответственности сокращение эмиссии предусматривалось преимущественно для развитых стран, экономическая деятельность которых является главным источником накопления парниковых газов в атмосфере. При определении количественных показателей сокращения выбросов государства руководствовались принципом добровольности, означавшим, что каждая страна сама разрабатывала для себя обязательства по снижению эмиссии.

В соответствии с Киотским протоколом, в 2008–2012 гг. (первый период его действия) предусматривалось общее сокращение выбросов развитыми странами на 5,2 % по сравнению с уровнем 1990 г.

Наиболее высокие обязательства по сокращению выбросов взяли на себя страны ЕС и Швейцария – по 8 %, США – 7 %, Япония и Канада – 6 %. Ряд стран получил право даже увеличить выбросы: Норвегия – на 1 %, Австралия – на 8 %, Исландия – на 10 %. Впоследствии внутри ЕС обязательства были перераспределены таким образом, что наибольшее снижение выбросов предусматривалось для Германии (21 %) и Великобритании (12,5 %). Франции и Финляндии разрешено сохранить показатели на уровне 1990 г., а Греции, Португалии и Ирландии даже их увеличить. Для развивающихся стран не были установлены количественные обязательства по ограничению выбросов парниковых газов.

В первоначальном варианте Киотского протокола показатель снижения выбросов парниковых газов для России должен был составить 5 %. Однако России (а вслед за ней и Украине) удалось настоять на сохранении эмиссии на уровне 1990 г., мотивируя это необходимостью восстановления экономики после беспрецедентного спада в 1990-х гг.

Для реализации Киотского протокола странам предоставлено право разработать свои комплексы мер государственной политики, которая в наибольшей степени будет соответствовать их национальным интересам.

Впервые в практике международных экологических соглашений в Киотском протоколе содержатся новые положения – рыночные механизмы (называемые также механизмы гибкости), которые государства могут применять для его реализации в дополнение к национальным мерам снижения эмиссии парниковых газов. Суть механизмов заключается в том, что страны, которым экономически невыгодно проводить дорогостоящее сокращение выбросов в пределах своих границ, имеют право выполнить обязательства за счет более дешевого их снижения в других государствах. Одним из важнейших механизмов Протокола является торговля квотами на выбросы парниковых газов между странами (статья 17).

Другими новыми механизмами, возможность применения которых зафиксирована в Киотском протоколе, стали «проекты совместного осуществления» (статья 6) и «механизм чистого развития» (статья 12). Оба механизма предусматривают возможность для стран, которым экономически невыгодно снижать выбросы на национальном уровне, осуществлять инвестиции в проекты по сокращению выбросов в других государствах. Разрешено приобретать единицы сокращения выбросов, в первом случае, в странах-участницах Протокола (фактически это касается стран с переходной экономикой), а во втором – в случае осуществления проектов в развивающихся странах, не принявших на себя обязательств. Кроме того, допускается совместное выполнение обязательств.

В 2001 г. на Конференции сторон в Марракеше (Марокко) урегулированы соглашения, определяющие международные нормы и правила реализации Киотского протокола, в том числе условия финансирования, передачи технологий и соблюдения обязательств, принципы торговли квотами, действия механизмов совместного осуществления и чистого развития и пр. (После вступления в силу Киотского протокола на 1-й Конференции стран-участниц, состоявшейся в 2005 г. в Монреале (Канада), эти соглашения были приняты.)

На Марракешской конференции (2001) сделаны уступки странам, от которых зависело вступление в силу Киотского протокола. В частности, принято решение о предоставлении дополнительных квот государствам на наличие и использование лесов, являющихся поглотителями углекислого газа (в основном, по настоянию России), о не применении финансовых санкций к нарушителям, об отсутствии серьезных ограничений на выбор проектов совместного осуществления и организацию системы торговли квотами. Кроме того, странам предоставлена возможность переноса «невывбранных» квот на следующий период выполнения обязательств.

Несмотря на подписание Киотского протокола большинством стран-участниц Рамочной конвенции, с его ратификацией возникли проблемы. Для вступления в силу он должен быть ратифицирован не менее чем 55 государствами, на которые приходится как минимум 55 % выбросов парниковых газов. Государства ЕС ратифицировали протокол, а США отказались от ратификации. Причиной отказа стал значительный рост эмиссии парниковых газов в стране и необходимость для выполнения обязательств более существенного (в несколько раз) их сокращения. После отказа США, на которые приходится 36 % общемирового объема выбросов, роль России (17,6 %) для вступления Протокола в силу стала ключевой, что и позволило получить на переговорах в Марракеше целый ряд уступок. Киотский протокол вступил в силу в феврале 2005 г. после его ратификации Россией. По состоянию на 2005 г., его участниками были 157

стран, включая все развитые государства (за исключением США и Австралии).

Киотский протокол является позитивным шагом на пути решения глобальной проблемы изменения климата, однако имеет ряд недостатков. К ним относится отсутствие строго обоснованных научных данных по объему вклада человеческой деятельности в глобальное потепление и количественной оценке эмиссии парниковых газов (уровни выбросов установлены произвольно).

К недостаткам Киотского протокола можно отнести и тот факт, что он направлен, прежде всего, на повышение эффективности использования энергии, а не на комплексное решение проблемы изменения климата. Несмотря на некоторые уступки, сделанные России и ряду других стран в отношении предоставления дополнительных квот на использование лесов, в целом вопросы поглощения углекислого газа лесами недостаточно отражены в решениях соглашения. При этом в России, по сравнению с целым рядом развитых государств, существуют большие возможности организации лесных проектов, направленных на усиление углероддепонирующей способности лесов. Кроме того, по сравнению с обычными квотами возможности применения странами «лесных» квот несколько ограничены. В частности, их нельзя переносить на следующие периоды обязательств. Ряд стран-участниц Киотского протокола, например страны ЕС, заявили об отказе от покупки «лесных» квот в рамках европейской торговой системы.

Среди недостатков Киотского протокола называли ограниченный срок его действия – пятилетний период (2008–2012 гг.), что не позволило государствам и компаниям планировать долгосрочную деятельность по реализации Протокола. В 2005 г. на Конференции сторон в Монреале страны-участницы договорились о подготовке нового международного соглашения.

Практическим шагом к достижению такого соглашения стала конференция, состоявшаяся в декабре 2015 г. в Париже (Франция). На Парижском саммите 195 сторон РККК ООН достигли договоренности о заключении обязательного

соглашения о противодействии глобальным изменениям климата, которое придет на смену Киотскому протоколу после 2020 г. Правительство Российской Федерации одобрило документ (распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.04.2016 № 670-р).

Методики учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы

РКИК ООН заложена правовая основа национальных инвентаризаций выбросов и стоков парниковых газов (национальная инвентаризация проводится, в том числе, и в России). В тексте РКИК учет выбросов называется разработкой кадастра. Наряду с этим термином используется в качестве синонима прямой перевод с английского – инвентаризация [1]. Российская система оценки антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов и российский реестр углеродных единиц созданы в 2006 г. Функции уполномоченного национального органа по системе оценки выполняет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Методология национальной отчетности для сектора, включающего лесное хозяйство, и требования учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов изложены в Руководящих указаниях по эффективной практике для землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства МГЭИК ООН [2] и в дополнениях к ним (2006, 2014). Задача МГЭИК – разработка требований к методологии, методикам и предоставляемым отчетным данным. Национальная отчетность осуществляется по секторам экономики.

Важная сторона в наставлениях МГЭИК – согласование категорий землепользования в целях оценки выбросов и абсорбции CO₂ для сектора землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ), унификация терминологии, которая используется в разных странах для определения основных понятий. Из-за понятийных различий могут возникнуть различия в оценках углеродного бюджета нацио-

нального уровня и трудности свода предоставляемой информации для глобальной оценки.

Согласно Марракешским договоренностям (2001), термин «лес» определен как минимальная территория площадью 0,05–1,0 га с проективным покрытием крон деревьев 10–30 % и минимальной высотой 2–5 м в возрасте спелости. Лес может состоять либо из закрытых лесных формаций, в которых деревья различных ярусов и подлесок покрывают значительную часть поверхности земли, либо из открытых лесных формаций. Молодые древостои естественного происхождения и все плантации (культуры), не достигшие сомкнутости крон 10–30 % или высоты 2–5 м, включают в понятие «лесные земли». Это территории, являющиеся частью лесных участков, которые временно не покрыты лесной растительностью в результате деятельности человека (например, ведения лесозаготовок) или естественных причин, которые, однако, могут стать лесом (пункт 1а приложения к проекту решения –/СМР.1 Землепользования, изменения в землепользовании и лесное хозяйство. Документ FCCC/CP/2001/13/Add.1, с. 74).

В российском лесоводстве понятию «лес» соответствует термин «земли, покрытые лесной растительностью», а земли, временно утратившие лесной покров, относят к «землям, не покрытым лесной растительностью». Эти две категории в совокупности образуют «лесные земли», что соответствует категории «лес» в Марракешских документах (2001).

Согласно определениям МГЭИК ООН, «управление лесным хозяйством» означает систему деятельности по рациональному управлению и пользованию лесами в целях выполнения соответствующих экологических (включая биоразнообразие), экономических и социальных функций леса устойчивым образом. В соответствии с российским лесным законодательством (Лесной кодекс Российской Федерации, 2006) «система деятельности по рациональному управлению и пользованию лесами» включает использование, охрану, защиту и воспроизводство лесов, которые осуществляются исходя из понятия о лесе как об экологической системе и природном ре-

сурсе (статья 5). Это определение согласуется с терминологией, принятой международным сообществом.

Под управляемыми [3] понимают леса, «...подверженные постоянным или периодическим воздействиям человека, включающим полный диапазон хозяйственных мероприятий – от коммерческой заготовки древесины до использования лесов в некоммерческих целях (лесовосстановление, борьба с лесными пожарами и вредителями леса)». Согласно российскому лесному законодательству (Лесной кодекс Российской Федерации, статья 10), «леса, расположенные на землях лесного фонда, по целевому назначению подразделяются на защитные, эксплуатационные и резервные».

Защитные и эксплуатационные леса подлежат освоению с соблюдением их целевого назначения и выполняемых полезных функций (Лесной кодекс Российской Федерации, статья 12), т.е. попадают в категорию «управляемых», в со-

ответствии с определением МГЭИК. К резервным относят леса, в которых в течение 20 лет не планируется осуществлять заготовку древесины (Лесной кодекс Российской Федерации, статья 109), но на этих территориях осуществляются авиационные работы по охране и защите лесов, т.е. в них проводится ограниченный перечень хозяйственных мероприятий. Пространственное представление управляемых лесов на территории России, в соответствии с критерием, содержащимся в марракешских документах, приведено на рис. 1.

Доля управляемых лесов составляет 76,4 %, резервных – 23,6 % общей площади земель лесного фонда. Резервные леса (по согласованию с Рослесхозом) с 2007 г. выведены из национальной отчетности Российской Федерации по сектору ЗИЗЛХ. В национальном докладе Российской Федерации, размещенном на сайте секретариата РКИК (<http://unfccc.int>), учитываются только управляемые леса [4].

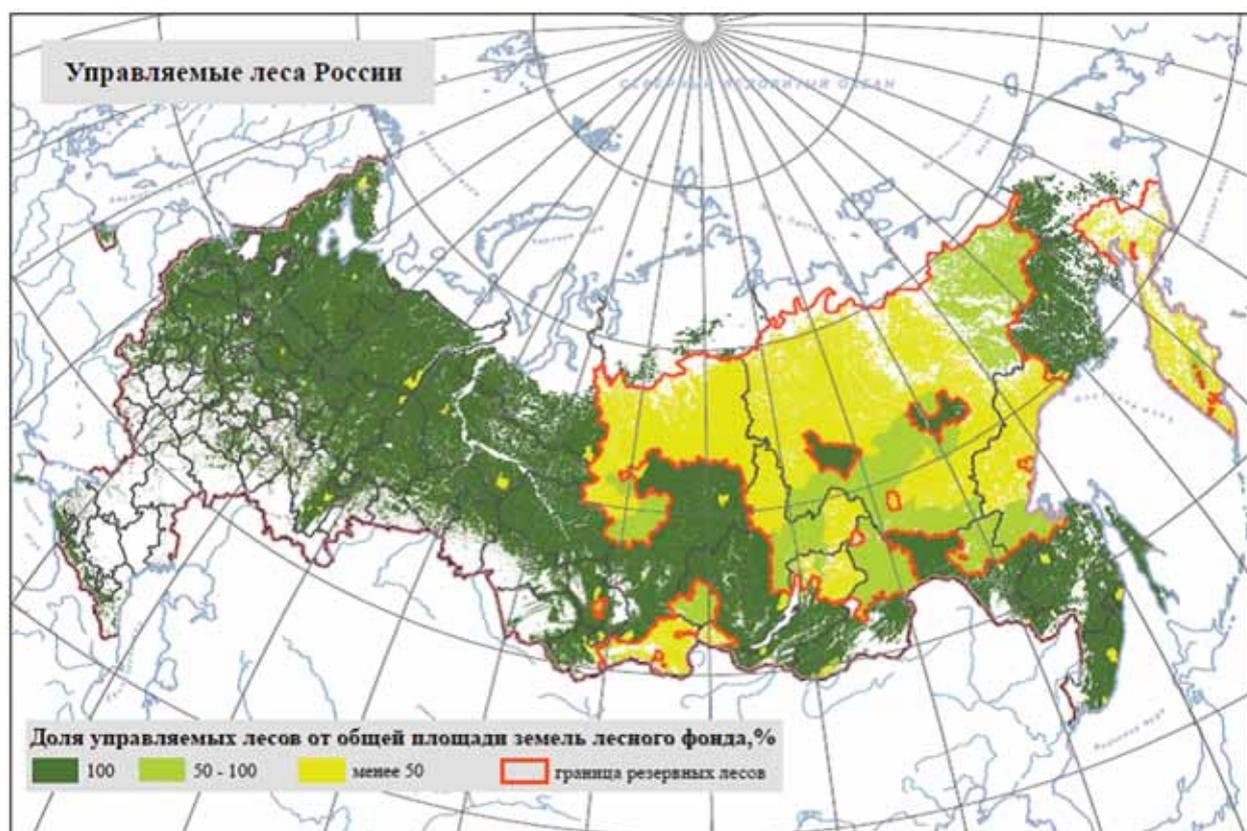


Рис. 1. Пространственное распределение управляемых лесов России

Наставления и руководящие указания МГЭИК для национальных инвентаризаций парниковых газов в секторе ЗИЗЛХ вводят 3 методологических уровня ведения кадастра (инвентаризации):

1. Использование конверсионных коэффициентов, приведенных в наставлениях МГЭИК по климатическим зонам, по умолчанию.

2. Расчет с использованием простых уравнений и национальных конверсионных коэффициентов.

3. Использование современных методов, в том числе математического моделирования, и подробных национальных данных.

Методология МГЭИК организована по секторам экономики и категориям землепользования, предмет нашего интереса – сектор лесного хозяйства и категория «лесные земли». Расчет ведется по крупным резервуарам углерода. Резервуары углерода и их описание приведены в табл. 1.

Согласно международным договоренностям (Марракешские соглашения, 2001), в ежегодной национальной отчетности необходимо отражать информацию и оценивать изменения в накоплении углерода во всех пяти пулах (резервуарах). Это обстоятельство не требует обязательного увеличения накопления углерода во всех пулах, поскольку уменьшение запаса углерода в одном пуле может компенсироваться увеличением в другом. Например, пул надзем-

ной фитомассы после низовых пожаров или повреждения насекомыми-вредителями уменьшается, однако пул сухостойной и валежной древесины увеличивается. Таким образом, изменение в рамках одного пула может быть более значительным по сравнению с результирующим изменением совокупности пулов. Для предоставления международной отчетности и выполнения международных обязательств важен расчет суммарного значения увеличения или уменьшения накопления углерода по всем пулам в совокупности.

Методология МГЭИК основана на следующих взаимосвязанных допущениях:

1) поток углерода в атмосферу или из нее предполагается равным изменениям в запасах углерода в существующей биомассе и почве;

2) изменения в запасах углерода связаны с темпами трансформации землепользования и хозяйственной деятельности (практики).

Предусматривается ежегодная периодичность инвентаризации источников и поглотителей с подготовкой отчетных данных по всем резервуарам. При этом допускается интерполяция данных национальных кадастров, которые проводятся 5–10-летними циклами.

Годовое изменение запасов углерода в конкретном резервуаре может рассчитываться двумя способами:

1. Как функция изменений и потерь углерода, с помощью уравнения 3.1.1 [2]:

ТАБЛИЦА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПУЛОВ (РЕЗЕРВУАРОВ) УГЛЕРОДА [2, 3]

РЕЗЕРВУАР		ОПИСАНИЕ
Фитомасса	Надземная фитомасса	Вся живая фитомасса над поверхностью почвы, включая стволы, пни, ветви, кору, семена и листву/хвою. Измеряется в т сухого вещества
	Подземная фитомасса	Вся фитомасса живых корней. Тонкие корни диаметром менее 2 мм иногда исключаются, поскольку их часто невозможно отличить от органического вещества почвы или подстилки
Мертвое органическое вещество	Сухостойная и валежная древесина	Включает всю неживую древесную массу, не содержащуюся в подстилке, как стоящую, так и лежащую на поверхности земли. Мертвая древесина включает деревья, лежащие на поверхности, мертвые корни и пни диаметром, равным или превышающим 10 см
	Подстилка	Включает всю неживую массу диаметром менее 10 см, лежащую в мертвом состоянии на различных этапах разложения, выше минеральных или органических почв. Сюда относят подстилку и гумусовые слои
Почва	Органическое вещество почвы	Включает органический углерод в минеральных и органических почвах, включая торф до определенной глубины

$$\Delta C = \sum_{ijk} [A_{ijk} \times (C_i - C_l)_{ijk}] ,$$

где:

ΔC – изменение запасов углерода в резервуаре, т С/год;

A – площадь территории, га;

ijk – соответствует типу климата i , типу леса j , практике управления k ;

C_i – скорость поступления углерода, т/га/год;

C_l – скорость потерь углерода, т/га/год.

2. Как функция изменения запаса углерода на два момента времени, с помощью уравнения 3.1.2 [2]:

$$\Delta C = \sum_{ijk} \frac{C_{t2} - C_{t1}}{(t_2 - t_1)_{ijk}} ,$$

где:

C_{t1} – запас углерода в резервуаре в момент времени t_1 , т С;

C_{t2} – запас углерода в резервуаре в момент времени t_2 , т С.

В разделе 3.2 Руководящих указаний МГЭИК [2] представлены методы оценки изменений запасов углерода, а также выбросов и абсорбции парниковых газов, связанных с изменениями в биомассе, мертвой древесине, подстилке и органическом веществе почв на лесных землях.

Для оценки изменения запасов в пуле биомассы предложено 2 метода и 2 уравнения, которые чаще других используют и отечественные исследователи: метод расчета по изменению запаса и метод расчета по среднегодовому приросту запаса.

Метод расчета по изменению запаса углерода на данной территории на два разных момента времени описывается следующим уравнением (3.2.3[2]):

$$\Delta C_{FFLB} = (C_{t2} - C_{t1}) / (t_2 - t_1),$$

$$C = [V \times D \times BEF] \times (1+R) \times CF,$$

где:

ΔC_{FFLB} – годовое изменение запасов углерода в живой фитомассе (включая надземную и подземную)

на лесных площадях, остающихся лесными площадями, т С/год;

C_{t1} – общее количество углерода в фитомассе, подсчитанное на момент времени t_1 ;

C_{t2} – общее количество углерода в фитомассе, подсчитанное на момент времени t_2 ;

V – товарный запас древесины, м³/га;

D – плотность абсолютно сухой древесины, т сухого вещества/м³ товарного запаса;

BEF – коэффициент разрастания фитомассы для преобразования товарного запаса древесины в надземную фитомассу деревьев, безразмерная величина;

R – соотношение массы корней и побегов, безразмерная величина;

CF – доля углерода в сухом веществе (по умолчанию = 0,5), т С/ т сухого вещества.

Этот метод расчета, по мнению экспертов МГЭИК, обеспечивает хорошие результаты при «сравнительно больших увеличениях или уменьшениях биомассы или при использовании точных данных инвентаризации лесов. Однако на лесных площадях со смешанным древостоем или в случае когда изменение биомассы очень невелико по сравнению с общим количеством биомассы, существует риск, что при применении метода расчета по изменению запаса ошибочное значение в кадастре будет больше, чем предполагаемое изменение. При таких условиях лучшие результаты могут дать данные о приращении (приросте)» [2]. Вопрос о предпочтениях решается на уровне экспертов. Мы намеренно процитировали эту рекомендацию, так как эти пояснения во многих системах оценки отечественными исследователями игнорируются.

Метод расчета по среднегодовому приросту биомассы на определенной территории описывается следующим уравнением (3.2.5 [2]):

$$G_{total} = G_w \times (1+R), \quad A$$

при этом

$$G_w = I_v \times D \times BEF_1, \quad B$$

где:

G_{total} – средний годичный прирост подземной и надземной фитомассы, т сухого вещества/га/год;

G_w – средний годичный прирост надземной фитомассы, т/га/год;

R – соотношение массы корней и побегов, соответствующее приросту, безразмерная величина;

I_v – средний годичный чистый прирост запаса стволовой древесины, м³/га/год;

D – плотность сухой древесины, т/м³;

BEF_1 – конверсионный коэффициент для пересчета чистого годичного прироста (включая кору) запаса в прирост надземной фитомассы (безразмерная величина).

D и BEF_1 зависят от преобладающей древесной породы (группы пород), возраста древостоя, условий местопроизрастания, полноты древостоя и климатических характеристик.

Уравнение 3.2.5А [2] используется в том случае, когда напрямую применяются данные о приросте надземной фитомассы (сухое вещество), уравнение 3.2.5В [2] или его эквивалент, – когда для оценки привлекаются данные о приросте запаса.

Руководящие принципы [2] предусматривают в случае применения методологического подхода 3 значения D и BEF_1 рассматривать на уровне отдельных пород или групп древесных пород. Значения BEF_1 для прироста биомассы различаются по древесным породам.

Как следует из приведенной на стр. 43 цитаты из наставлений МГЭИК ООН [2] и аргументированного мнения отечественных экспертов [5, 6], уравнение 3.2.3 для расчета годичного депонирования углерода по разности запасов целесообразно использовать для расчетов, когда есть надежные данные о запасах пулов за определенный период (5–10 лет), полученные на пробных площадях. Это уравнение лежит в основе расчетов запаса углерода, которые осуществляются в настоящее время при ведении государственной инвентаризации лесов Российской Федерации [7].

На пробной площади учету подлежит запас надземной фитомассы, сухостоя и валежника, прирост по диаметру и высоте растущих деревьев и др. Точность определения запаса древостоя по данным пробных площадей – 2–10 %. В отче-

тах о государственной инвентаризации лесов по объектам, завершаемым к настоящему времени, точность определения запаса оценивается в 1–5 % по лесному району. Программное обеспечение, используемое в полевых работах, содержит специальную утилиту для расчета запаса углерода, депонированного в надземной и подземной фитомассе, валежнике и сухостое. В перспективе после повторной инвентаризации тех же пробных площадей можно будет рассчитать итоговый баланс совокупности пулов и судить о накоплении или потерях запаса углерода.

Подобный подход к расчету углеродных пулов используется на практике в Республике Беларусь [8]. В основе расчетов – метод подсчета запасов и их временных изменений с использованием уравнения 3.2.3, рекомендованного МГЭИК ООН [2].

Метод расчета углеродных пулов по разности запасов, подсчитанных на пробных площадях с высокой точностью, применяется в малолесной Центральной Европе [9].

Российская система оценки антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов инициирована распоряжением Правительства Российской Федерации от 01.03.2006 № 278-р (в ред. от 10.03.2009). Национальная отчетность по сектору ЗИЗЛХ основана на использовании материалов учета лесов России – данных государственного лесного реестра (ГЛР) или, до введения в действие лесного законодательства в 2007 г., – данных государственного учета лесного фонда (ГУЛФ).

Согласно лесному законодательству (Лесной кодекс Российской Федерации, статья 91), ГЛР представляет собой систематизированный свод документированной информации о лесах, их использовании, охране, защите, воспроизводстве, о лесничествах и лесопарках. В государственном лесном реестре содержится документированная информация о составе земель лесного фонда и, в числе прочих данных, о количественных, качественных экономических характеристиках лесов и лесных ресурсов. Сведения ГЛР, которые представляются в обязательном порядке, агрегируют по субъектам Российской Федерации и сводят по

стране в целом. Ведение государственного лесного реестра осуществляют во всех регионах России органы исполнительной власти и органы местного самоуправления, а ФБУ «Рослесинфорг» обобщает информацию на федеральном уровне. В ГЛР заложен принцип преемственности данных ГУЛФ.

По мнению авторитетной группы ученых Международного института прикладного системного анализа (IIASA) [10], оценку запасов фитомассы и ее возрастной динамики предпочтительно осуществлять с использованием данных ГЛР (ГУЛФ) в сочетании с моделями таблица хода роста (ТХР) и регрессионными зависимостями фитомассы от лесотаксационных показателей.

Данные о запасах древостоев в ГЛР (ранее ГУЛФ), которые в расчетах углеродного бюджета лесов России использует подавляющее большинство научных коллективов [11–13], имеют свои особенности и ограничения. В ГЛР собраны разновременные данные лесоустройства, которые агрегированы на уровне лесничеств, а затем – по субъектам Российской Федерации. Согласно нормативным документам, ревизионный период лесоустройства – 10 лет. В настоящее время площадь земель лесного фонда, на которой давность лесоустройства не превышает нормативную – 10 лет – составляет 23 % (данные ГЛР, 2014). Агрегированные по лесничествам, а затем и по субъектам Российской Федерации данные о запасах древостоев включают обобщенные сведения по разновозрастным лесам разных классов бонитета и полноты. По мнению экспертов [9], при среднем запаса древесины на 1 га покрытых лесной растительностью земель в целом по стране 104 м^3 ошибка определения запаса составит $15\text{--}25 \text{ м}^3$, тогда как средний прирост запаса составляет $1,33 \text{ м}^3/\text{га}$.

Таким образом, оценка годового прироста по разности запасов не является статистически достоверной, так как ошибка измерений в десятки раз превосходит разность измеряемых величин [9]. Это основной, но не единственный методический просчет, который может привести и приводит к значительным расхож-

дениям в оценке депонирования углерода лесами России, сделанными разными научными коллективами.

В работах [5, 6, 9, 14–16] доказано, что для расчетов годового депонирования углерода на основании данных, внесенных в ГЛР, целесообразно использовать уравнение 3.2.5 (по среднему приросту запаса [2]). Это уравнение опробовано в научных исследованиях прикладного характера [16] и при подготовке национальной отчетности для глобальной оценки лесных ресурсов ФАО ООН.

Средний прирост древостоев по запасу является доступным и практически единственным таксационным показателем, характеризующим продуктивность древостоев и коррелирующим со многими экологическими функциями лесных экосистем. Количественное определение текущего прироста остается задачей научных исследований на пробных площадях и приблизительных расчетов по моделям. Высокая трудоемкость надежного определения текущего прироста в каждом таксационном выделе при лесоустройстве также играет заметную роль. Поэтому практика лесоустройства ограничилась вычислением среднего прироста – показателя, который в достаточной мере отражает продуктивность древостоев в терминах годового увеличения наличного запаса в среднем за период жизни древостоя [17, 18]. Таблицы хода роста дают более надежные данные по среднему и текущему приросту древостоев, но они не могут учесть все многообразие типов леса на огромной территории Российской Федерации, особенно в оценках полноты древостоев.

В практике лесной таксации существует более 100 способов определения прироста. Наиболее точный из них (7–10 %), но вместе с тем и наиболее трудоемкий, – проведение стационарных наблюдений на постоянных пробных площадях. По данным однократных наблюдений на временных пробных площадях с рубкой и обмером 20–30 модельных деревьев текущий прирост определяется с точностью 10–12 %. Точность упрощенных способов, не требующих за-

кладки пробных площадей, колеблется в пределах 12–20 % [19].

Государственный лесной реестр содержит информацию о продуктивности насаждений, определяемую при таксации и выраженную в показателях запаса и среднего возраста древостоев. При ведении ГЛР сводные данные вносят в таблицу формы 1.8 по группам возраста и рассчитывают общий средний прирост запаса по лесничествам и субъектам Российской Федерации. К сожалению, в ГЛР нет данных о годовичном отпаде древесины, поэтому по этим данным невозможно определить истинный, полный прирост древостоев, который складывается из среднего изменения запаса произрастающих древостоев (живой фитомассы) и годовичного отпада древесины. А именно такие данные необходимы для расчетов годовичного депонирования углерода по методике МГЭИК. Эти данные получают экспертным путем.

В Руководящих указаниях МГЭИК [2] приводятся уравнения для расчета расходной части бюджета углерода в результате потерь на лесных площадях от коммерческих рубок леса, заготовок топливной древесины и других потерь за год (уравнения 3.2.6, 3.2.7, 3.2.8 [2]).

Леса могут трансформироваться в другие категории под другие виды пользования, преимущественно в пастбища и возделываемые земли.

Для этих случаев предлагаются различные методические варианты учета [2].

Методы измерения углеродного обмена между атмосферой и лесом

Изучение потоков углерода в лесных экосистемах с детальной характеристикой его накопления и миграции – фундаментальная научная проблема. Для ее решения необходима количественная оценка углеродных пулов. Фундаментальные научные исследования сосредоточены на поиске способов наиболее полного расчета запасов углерода в разных пулах и их динамике во времени [11, 20–25]. Как отмечают эксперты, «за исключением очень малых пространственных масштабов (отдельные участки) и ограниченных временных рамок (от нескольких дней до нескольких месяцев) не представляется возможным измерить ни содержание углерода, ни уровень углеродного обмена между лесом и атмосферой» [26].

Непосредственные (прямые) измерения потоков CO_2 и углеродного обмена между экосистемой и атмосферой проводят с использованием метода вихревых пульсаций – ковариаций (*eddy covariance*). Общий вид экспериментальной аппаратуры, предназначенной для измерения потоков CO_2 методом вихревых пульсаций и установленной на метеорологической мачте, показан на рис. 2.

Основным условием проведения надежных измерений вертикальных потоков является наличие интенсивного турбулентного обмена в приземном слое атмосферы. При небольшой скорости ветра и слабой турбулентности использование метода может привести к недооценке вертикальных потоков из-за недооценки восходящих и нисходящих, адвективных и конвективных составляющих переноса в приземном слое. Для коррекции измеренных потоков обычно используют как данные измерений составляющих вертикальной и горизонтальной адвекции, так и разные расчетные методики, основанные на определении потоков CO_2 как функции температуры растительного покрова и почвы или на интер-



Рис. 2. Общий вид экспериментальной аппаратуры, предназначенной для измерения потоков CO_2 и углеродного обмена между экосистемой и атмосферой

поляции потоков, полученных при максимально сходных метеорологических условиях при наличии интенсивного турбулентного обмена в приземном слое атмосферы.

Метод может быть применен для измерений вертикальных потоков внутри экосистемы, например для определения потоков CO₂ внутри леса, в частности для определения вклада почвы и лесной подстилки в интегральные экосистемные потоки. Результаты измерений, проводимых методом вихревых пульсаций, используют для разработки и проверки локальных моделей.

Однако оценки углеродного обмена, полученные этим экспериментальным методом, в силу пространственной и параметрической ограниченности измерений не позволяют их использовать для региональных обобщений [18]. Для справки: за весь период существования этого метода в России измерения проводились на 17 станциях, при этом только 14 из них расположены в лесах [25]. Кроме того, этот метод измерений требует существенных затрат на оборудование и проведение натурных наблюдений.

Из-за некорректности экстраполяции результатов измерений на отдельных станциях или пробных площадях на обширные территории и нестабильности потоков углерода во времени, оценку запасов и потоков углерода в лесных экосистемах обычно осуществляют с использованием математических моделей.

Методика Международного института прикладного системного анализа (IIASA)

Один из первых полных учётов бюджета углерода в лесах России (далее – FCA, *Full Carbon Account*) выполнен Международным институтом прикладного системного анализа (Лаксенбург, Австрия) по состоянию на 1990 г. и опубликован в 2000 г. [27]. FCA включает и интегрирует непрерывно во времени все углеродные компоненты, связанные со всеми наземными экосистемами. Расчет FCA базируется на использовании базы данных IIASA, которая состоит из комплексной ГИС, содержащей характеристики лесов, зе-

мель и компонентов природной среды Российской Федерации с точной географической привязкой. В результате расчетов выявлены значительные неопределенности оценок поглощения лесами России атмосферного углерода. Они превышали расчетные изменения в полном балансе потока углерода за 1990–2010 гг.

Часть неопределенностей была идентифицирована на основе анализа данных лесоустройства и государственного учета земель лесного фонда. Это позволило учесть некоторые неопределенности, которыми можно пренебречь при использовании методики частичной системы учёта потоков углерода, рекомендованной Межправительственной группой экспертов по изменению климата [28, 29].

Результаты исследований IIASA по тематике, связанной с учётом баланса углерода в лесах России, к 2003 г. опубликованы в 542 работах.

Разработка FCA базируется на гипотезе глобального потепления климата в результате усиления парникового эффекта. В качестве основной причины усиления парникового эффекта указан устойчивый антропогенный рост концентрации парниковых газов в атмосфере, прежде всего углекислого газа. Кроме сжигания ископаемого топлива, к числу причин роста выбросов парниковых газов отнесены изменения в землепользовании и процессы управления лесами, включая отчуждение лесных земель для использования их в других целях.

В данной методике глобальный углеродный баланс представлен как сумма вкладов крупных источников и поглотителей углерода за определенный период времени. Основными резервуарами Земли для стока углерода являются мировой океан и экосистемы суши. В FCA учтены, главным образом, компоненты суши. Для оценки депонирования углерода лесами использованы данные ГУЛФ по состоянию на 1993–1998 гг.

Данные ГУЛФ сгруппированы в 3 блока:

- 1) данные учета по лесхозам (около 1800 учетных единиц);
- 2) данные, сгруппированные по экорегионам России. Под экорегионом понимался относительно крупный участок суши, отличавшийся от-

носителем однородным биотическим сообществом. Всего выделен 141 экорегион;

3) данные, агрегированные по административным территориальным единицам России для каждого 5-летнего цикла ГУЛФ, за 1961–1998 гг.

Количественные характеристики лесов по лесхозам использовали для оценки фитомассы лесов. Экорегиональные данные – для оценки прироста древесины и оценки фитомассы лесов по фракциям. Данные по административным территориальным единицам – для оценки динамики землепользования на лесных землях, оценки динамики фитомассы лесов, контроля продуктивности лесов.

Оценка запасов углерода проводилась для следующих резервуаров:

- ✓ почва,
- ✓ наземная растительность в целом,
- ✓ леса,
- ✓ водно-болотные угодья,
- ✓ луга,
- ✓ кустарниковые заросли,
- ✓ крупные древесные остатки,
- ✓ скрытые землёй мёртвые растительные остатки (мёртвые корни),
- ✓ сельскохозяйственная продукция,
- ✓ лесная продукция.

Оценка потоков углерода осуществлялась на основе модульного подхода. Потоки углерода, связанные с почвой, оценивались по следующим модулям:

- 1) эмиссия газов (углекислый газ и метан),
- 2) гумификация,

3) растворенные органические вещества (переносимые поверхностным стоком, подземным стоком с минеральными веществами, подземным стоком с органическими веществами).

Углеродные потоки в наземной биоте (чистая первичная продукция и др.) оценивались с учётом углеродных потоков, вызванных нарушениями в лесах: пожары, вспышки массовых размножений вредителей и болезней леса, другие биотические факторы, лесозаготовки, а также нарушениями водно-болотных, луговых угодий и кустарниковых зарослей.

Кроме того, оценивались углеродные потоки сельскохозяйственного производства, включая животноводство, а также углеродные потоки сектора управления земельными ресурсами, углеродные потоки от применения навоза и известкования почвы. Отдельно оценивались углеродные потоки продукции леса, углеродные потоки в энергетике и других секторах экономики России. Для оценки FCA ИАСА использовал ряд вспомогательных моделей, в частности, систему моделей роста и продуктивности лесов России, разработанную под руководством А. З. Швиденко [27].

В результате работ установлено, что оценки поглотительной способности лесов России изменяются от 0,02 до 450 Мт углерода в год. При этом баланс углерода в лесных экосистемах азиатской и европейской частей России сильно различается.

Спустя 14 лет после публикации результатов FCA опубликованы уточнённые результаты применения методики ИАСА на основе последовательного применения принципов системного анализа и современных информационных технологий [11]. В этой публикации приведены результаты за 2007–2009 гг. в отношении покрытых лесной растительностью земель России, этот показатель получил название «Чистый экосистемный углеродный баланс» (ЧЭУБ).

Авторы улучшили методику путём применения ландшафтно-экосистемного подхода и получили оценку ЧЭУБ лесов России в размере 546 ± 120 Тг С в год, или 66 ± 15 г С/м²/год, с существенной разницей между европейской и азиатской частями России и четко выраженными зональными градиентами. Кроме того, установлено, что при общем высоком поглощении углерода лесами страны значительные площади земель и лесов, преимущественно на многолетней мерзлоте, являются не поглотителем, а источником углерода. Соотношение между чистой первичной продукцией (NPP) и гетеротрофным дыханием почв, наряду с природными и антропогенными нарушениями, – основной фактор, определяющий величину и пространственное размещение ЧЭУБ лесных экосистем. Применение байесов-

ского подхода для «сжатия» оценок углеродного бюджета, полученных независимыми методами, позволило снизить неопределенности оценки конечного результата.

Таким образом, полученные уточнённые оценки FCA в виде ЧЭУБ представляют собой полный верифицированный углеродный бюджет лесов России по состоянию на 2007–2009 гг. Новые расчеты показали, что фитомасса лесов России содержит 75.5 Пг (1 Пг = 10^9 т) сухого органического вещества или 37.5 ± 1.5 Пг углерода со средним запасом 4.56 ± 0.19 кг С/м². На европейскую часть приходится 1/4 этой величины со средним запасом 5,66 кг С/м², а 3/4 (средний запас 4,28 кг С/м²) – на леса азиатской части. Фитомасса древостоев основных лесобразующих пород составляет 97 % всей фитомассы лесопокрываемых земель страны (в том числе 69,5 % в древостоях хвойных пород, 4,3 % – твердолиственных и 22 % – мягколиственных). Экосистемы 7-ми основных лесобразующих пород содержат 91,1 % всей фитомассы лесов России: сосна – 16,5 %, ель и пихта – 15,3, лиственница – 30,2, кедр – 7,6, береза – 17,5 и осина – 4,0 %. По категориям возраста на молодняки приходится 5,2 %, средневозрастные содержат 26,6 %, припевающие – 13,2, спелые – 29,5 и перестойные – 25,5 % общей фитомассы лесных экосистем.

Полученные оценки величины фитомассы лесов находятся в логическом соответствии с прежними оценками: так, средняя величина прежних оценок фитомассы, использовавших фактические данные учета лесов за разные годы в 1988–2000 гг. и приемлемую методологию [27, 30–32], составила 4.27 кг С/м². Полученные в результате исследования оценки [11] на 9,4 % выше тех, что приведены в перечисленных публикациях. Это объясняется увеличением площади лесопокрываемых земель и обновлением запаса древостоев на дату оценки ЧЭУБ. В работе [11] приведены следующие результаты оценок.

В целом по стране 57,4 % фитомассы находится в стволовой древесине, 10,3 % – в древесине кроны, 22,6 % – в корнях, 3,5 % – в листьях/хвое (все зеленые части экосистемы составляют 5,7 %). Нижние ярусы (подрост, подлесок, жи-

вой напочвенный покров) составляют в сумме 6,2 % общей фитомассы. Из общего количества 74,6 % – надземная фитомасса. Зональный градиент изменения фитомассы отчетлив – ее средний запас возрастает от притундровых лесов ($2,83$ кг С/м²) к зоне хвойно-широколиственных лесов, достигая здесь $6,74$ кг С/м², после чего уменьшается к югу до $4,23$ кг С/м². В зональном распределении отмечается тренд увеличения доли подземной фитомассы к северу, более заметный в азиатской части. Запасы углерода в отпавшей древесине в лесах России составляют $10,3 \pm 1,0$ Пг С ($1,3$ кг С/м²), или 27,4 % общего запаса фитомассы. Из общего количества 37,8 % приходится на сухостой (включая пни и сухие ветви живых деревьев), 30,6 % – на валежник и 31,6 % – на мертвые корни, сохранившие свою морфологическую структуру. Столь значительное количество отпавшей древесины объясняется преобладанием лесов, в которых не проводятся хозяйственные мероприятия, большими площадями разновозрастных лесов и широким распространением природных нарушений, в частности пожаров и массовых размножений вредителей леса.

Методика региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ)

Методика и специальные программы расчета бюджета углерода лесов разработаны Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН). Подробное описание и пошаговая инструкция по расчетам регионального и локального уровней приведены на сайте ЦЭПЛ РАН (<http://old.cepl.rssi.ru/regional.htm>, <http://old.cepl.rssi.ru/local.htm>). С 2010 г. эта методика является базовой для Национального кадастра парниковых газов [33, 34]. Национальные доклады о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, выпускают ежегодно (распоряжение Правительства Российской Федерации от 01.03.2006 № 278-р).

Информационным источником для региональных оценок запаса углерода в лесах и углеродного бюджета по этой методике служат данные ГЛР и ГУЛФ. Поскольку ряд параметров, использованных в расчетах, варьируется в зависимости от климатических и физико-географических условий произрастания лесов, на начальном этапе предусмотрена типизация объектов по зонально-региональному признаку. Таких зональных полигонов выделено 12 [20]. Принадлежность к определенному зонально-региональному полигону обуславливает выбор конверсионных коэффициентов для пересчета запасов древесины в фитомассу.

Методика РОБУЛ (<http://old.cepl.rssi.ru/regional.htm>) подробно документирована с пошаговым описанием расчетов для оценки запасов и бюджета углерода по основным пулам.

Расчет запасов углерода по пулам. Расчет запасов углерода в фитомассе древостоя осуществляется по объемным запасам древесины насаждений из данных ГЛР и конверсионным коэффициентам, представляющим собой отношение запаса углерода фитомассы к запасу ствольной древесины. Конверсионные коэффициенты – произведение коэффициента для перерасчета запаса древесины в надземную фитомассу (фактор расширения биомассы [2]) на плотность древесины и на долю углерода в сухом веществе (равен 0,5). В методике РОБУЛ в качестве базовой использована система конверсионных коэффициентов [35], определенных для преобладающих древесных пород по группам возраста. Расчет запасов углерода осуществляется для следующих пулов:

- ✓ надземной фитомассы древостоев,
- ✓ подземной фракции фитомассы древостоев,
- ✓ мертвой древесины (валежник и сухостой),
- ✓ лесной подстилки,
- ✓ почвы (в слое 0–30 см).

Завершающим этапом расчета запасов углерода для всех перечисленных пулов является суммирование по группам возраста с получением общего значения для данной преобладающей по-

роды и дальнейшее суммирование по преобладающим породам с получением результирующего значения для территориального объекта (административного района, субъекта Российской Федерации).

После оценки значений запасов углерода в различных пулах по группам лесных пород оценивают потоки углерода.

Расчет поглощения углерода. Для оценки депонирования углерода пулом фитомассы (работчики используют термин «абсорбция») сначала рассчитывают средние значения запасов углерода фитомассы на единицу площади в последовательных возрастных группах. Далее, с использованием информации по временным интервалам насаждений определенной возрастной группы, оценивают среднюю годовичную абсорбцию углерода пулом фитомассы в данной группе. Суммарное значение абсорбции углерода пулом фитомассы в данной возрастной группе для преобладающей породы равно произведению среднего годовичного значения на соответствующую площадь. Абсорбция углерода пулом фитомассы в группе перестойных насаждений принимается равной нулю.

Затем для всех пулов суммируются годовые значения абсорбции углерода по возрастным группам с получением суммарного значения для данной преобладающей породы. Сводные данные по преобладающим породам суммируют для получения значения годовой абсорбции углерода для территории объекта (субъекта Российской Федерации).

Расчет потерь углерода. Оценка средних годовичных темпов нарушений на землях лесного фонда в результате пожаров и сплошных рубок леса осуществляется по данным об их годичной площади с учетом времени зарастания этих площадей.

Расчет бюджета углерода. Годичный бюджет по каждому из пулов углерода рассчитывается для лесопокрытых земель оцениваемого объекта по разности абсорбции и потерь.

Суммарный бюджет углерода для лесопокрытых земель оцениваемого объекта рассчитывается как сумма бюджетов углерода всех пулов.

Методика CBM-CFS

Внимание к канадской модели и методике подкреплено ее активным использованием, особенно алгоритмов прогноза, в сочетании с методикой РОБУЛ в последних исследованиях [36, 37]. Разработанная Лесной службой Канады имитационная модель CBM-CFS3 опробована в 44 странах мира. В России она применена для прогнозной оценки влияния объемов использования лесов на углеродный бюджет лесов отдельных регионов бореальной зоны и страны в целом [36]. Отмечена схожесть полученных результатов по канадской модели с расчетами с помощью системы РОБУЛ [37]. Разработчики модели CBM-CFS в своих публикациях отмечают недостатки, присущие модели, в частности, занижение оценок депонированного лесами углерода. Схожесть результатов позволяет предположить, что и система РОБУЛ занижает оценку запасов углерода.

Модель бюджета углерода канадского лесного сектора (CBM-CFS) начали разрабатывать в 1990-е гг. В настоящее время современная, третья версия модели CBM-CFS3 представляет собой программный комплекс, снабженный удобным пользовательским интерфейсом [38]. Это открытое программное обеспечение, которое находится в свободном доступе и включает инструменты для импорта данных в стандартные форматы. Модель широко используется для расчета запасов и баланса углерода по экологическим зонам для лесов всей страны и отдельным провинциям Канады [39–41]. Она является ключевым компонентом Национальной системы мониторинга и отчетности углерода (NFC-MARS) в Канаде. Поскольку в Канаде проведен только один цикл национальной инвентаризации на пробных площадях, национальная система мониторинга использует CBM-CFS3 для расчета ежегодных изменений запаса углерода с помощью метода условно названного «одна инвентаризация + изменения, вызванные абиотическими, биотическими факторами и деятельностью человека». С помощью модели можно сделать прогноз баланса углерода в перспективе

для оценки лесной политики и сценариев ведения лесного хозяйства [42]. Программное обеспечение модели и подробное руководство доступны на сайте Лесной службы Канады (<http://cfs.nrcan.gc.ca/pages/94>), русскоязычный вариант Руководства опубликован [38].

В CBM-CFS3 реализован подход, соответствующий методологическому уровню 3 Руководящих указаний МГЭИК по эффективной практике для сектора ЗИЗЛХ [2], и методика моделирования прироста, базирующаяся на данных инвентаризации лесов и эмпирических данных о производительности (таблицах хода роста древостоев), с последующим учетом потерь, которые обусловлены воздействием природных и антропогенных факторов.

CBM-CFS3 относится к моделям, ориентированным на продуктивность древостоев. Она моделирует динамику запасов углерода в надземной и подземной фитомассе, мертвом органическом веществе, включая почвы, и представляет ее как на уровне отдельного насаждения, так и на уровне ландшафта и экосоны (региона). Будучи «оболочкой» для подсчета изменений запаса углерода, она отслеживает миграцию потоков углерода, перенос между пулами и эмиссии двуокси углерода, метана и окиси углерода.

Одна из сложных задач для моделей ландшафтного уровня состоит в интеграции информации о процессах, происходящих на различных пространственных уровнях или описываемых наборами данных, которые имеют различную пространственную локализацию. Для решения этой проблемы CBM-CFS3 спроектирована как среда, параметризация которой позволяет интегрировать входные данные в едином модуле, имеющем пространственную привязку.

Ландшафт в модели CBM-CFS3 рассматривается как совокупность пространственных единиц. Классификаторы соотносят все входные данные и параметры моделирования к пространственной единице или группе пространственных единиц, которые можно привязать к административному делению. Такая пространственная соподчиненность модулей формирует структуру, в

которой данные разного пространственного масштаба (уровня) могут быть интегрированы и дифференцированы от локального до ландшафтного уровней, от территориальных единиц управления лесным хозяйством (типичная площадь 10^5 га) до уровня провинций или регионов (типичная площадь 10^7 га) либо для всех управляемых лесов Канады (3×10^8 га).

Топология, или пространственные отношения, между этими пространственными единицами моделью не поддерживается. Программная среда обеспечивает гибкость для проектирования той системы пространственных единиц, которая удовлетворяет пространственному охвату по площади, представляющей интерес, и соответствует исходным данным для ввода в модель. Модель не сопряжена с ГИС, поэтому может потребоваться пространственный анализ данных в ГИС перед загрузкой в систему.

Для каждого насаждения указывают площадь (га), возраст, категорию земель и т.д. (всего 10 групп показателей – классификаторов). Классификаторы настраиваются пользователем модели и описывают такие типичные характеристики категорий лесных земель, как: класс бонитета, форма собственности, главная древесная порода. Сочетания классификационных значений связывают насаждение с таблицами хода роста.

По умолчанию в модель вводят параметры, характерные для административно-территориальных и экологических пространственных единиц (экорегiónов) Канады. Пользователь может изменять значения параметров через графический пользовательский интерфейс.

Модель CBM-CFS3 имитирует ежегодные изменения накопления углерода в отдельно взятом насаждении и углеродном пуле, которые происходят в результате роста древостоя, опада, отпада, переноса органического вещества и разложения подстилки.

Модель отслеживает 10 пулов фракций биомассы и 11 пулов мертвого органического вещества. Разделение по фракциям в модели CBM-CFS3 (21 пул) более детальное, чем разделение на 5 пулов, которое предусмотрено в Руководящих указаниях МГЭИК. Это позволяет улучшить

представленность ключевых экологических процессов.

Растущая (живая) фитомасса отслеживается отдельно для хвойных и лиственных пород в границах выдела по следующим фракциям: товарные стволы, ветви, листва (хвоя), крупные корни, тонкие корни.

Мертвое органическое вещество (МОВ) характеризуется по типу материала, который оно содержит, и по предполагаемой прогнозной скорости разложения.

Существует большое количество таблиц хода роста, функционально связывающих запас стволовой древесины и возраст насаждения. Чтобы адаптировать эти источники данных, CBM-CFS3 использует изменение запасов стволовой древесины в зависимости от возраста для моделирования роста насаждения. Заметим, что запас, получаемый по результатам инвентаризации, не используется в модели CBM-CFS3 для расчетов прироста, а используется только возраст, а запас получают по таблицам производительности древостоев (хода роста).

С целью пересчета запаса в надземные фракции фитомассы в модели использованы уравнения, разработанные для всех типов лесных насаждений Канады [43]. Для разработки уравнений привлечены данные, полученные в результате измерения отдельных деревьев на постоянных и временных пробных площадях (более 133 000). Пробные площади собраны во всех провинциях и территориях Канады и представляют 10 из 12 экорегiónов, в которых произрастают леса. В результате работ [43] получено почти 270 уникальных наборов модельных параметров для конвертирования запаса на уровне насаждения в надземную фитомассу для более чем 60 древесных пород. Конверсионные уравнения пересчета запаса в фитомассу основаны на тесной взаимосвязи этих показателей. Модель CBM-CFS3 оценивает прирост насаждения при подготовке к моделированию, затем конвертирует отдельные массы сухого вещества фракций лесного насаждения в массу углерода, используя стандартный коэффициент 0,5 С/т сухого вещества.

Скорость миграции органического вещества и величина потоков углерода из-за опада, естественного отпада, разложения подстилки и переноса в один или более пулов МОВ оценивается с помощью набора коэффициентов. Набор коэффициентов представляет собой процентное соотношение фракций надземной и подземной фитомассы, ежегодно пополняющих пул МОВ. Эти коэффициенты используют для параметризации модели. Так, например, ежегодная величина сухостоя в насаждении, пополняющего пул МОВ, варьируется от 0 до 5,8 % запаса в год. Скорость разложения подстилки варьируется от $1,17 \pm 0,59$ до $1,86 \pm 0,58$ мг С/га в год для лиственных и от $0,3 \pm 0,21$ до $0,55 \pm 0,21$ мг С/га в год для хвойных пород.

Процессы разложения органического вещества смоделированы с использованием зависимости скорости разложения органического вещества за год от среднегодовой температуры, древесной породы и возраста насаждения.

СВМ-CFS3 имитирует воздействие ежегодной нарушенности лесов природными и антропогенными факторами на динамику запасов углерода. Сведения о нарушенности получают из разных источников – материалов авиационных обследований состояния лесов, статистических данных о лесозаготовках, данных мониторинга пожаров.

С помощью набора инструментов интерфейса, объединенных в «редактор матрицы нарушенности», можно смоделировать сплошное или частичное повреждение древостоев под влиянием пожаров, вредителей леса, рубки леса – сплошной, выборочной, санитарной и пр., – рассчитать эмиссии углерода и его перераспределение между пулами. По умолчанию модель содержит 234 матрицы нарушенностей, но пользователем может быть создана собственная матрица.

Изменения землепользования рассматриваются в модели СВМ-CFS3 как нарушенность, но они имеют свои особенности. В глобальном масштабе изменения землепользования дают 20 % антропогенных эмиссий парниковых газов. Эффект от изменений землепользования может быть как положительный, так и отрицательный. Обезлесение, которое рассматривается как сведение

лесов под сельхозугодья или земли поселений, приводит к увеличению эмиссий, а создание новых лесов при выращивании лесных культур на нелесных землях рассматривается как облесение или лесоразведение и способствует депонированию углерода из атмосферы.

Результатом работы модели СВМ-CFS3 служат ежегодные отчеты о запасах и потоках углерода по каждому пулу, об эмиссиях углерода в атмосферу, изъятии при лесозаготовках и перераспределении в готовую продукцию из древесины. Отчетность об изъятии древесины и эмиссиях, связанных с различными типами нарушений, подготавливается отдельно, таким образом можно оценить результаты прямого воздействия различных видов нарушений.

Модель СВМ-CFS3 дает оценку чистой первичной продукции (ЧПП) экосистем для каждого типа насаждений. Чистая экосистемная продукция (ЧЭП) рассчитывается как чистая первичная продукция минус гетеротрофное дыхание, где гетеротрофное дыхание равно сумме всех значений потерь и эмиссий в атмосферу от разложения МОВ.

Для описания баланса углерода предложены 2 показателя: чистая экосистемная продукция для анализа на уровне насаждения с ежегодной периодичностью и чистая биомная продукция (ЧБП) для региональных оценок на больших площадях с временным интервалом в 10 лет [44]. Последний показатель равен ЧЭП за вычетом потерь, вызванных факторами нарушенности лесов.

Модель СВМ-CFS3 предназначена для оценки запасов и потоков углерода в плакорных типах леса с высокой степенью неопределенности запасов углерода и расчетов эмиссий, для типов леса на слабодренированных почвах и типов леса на вечной мерзлоте. Несмотря на то, что болота – важный компонент бюджета углерода в канадских лесах, торфяники непосредственно не представлены в модели, так как по ним собрано недостаточно данных для ее параметризации. Это касается и не представленного в модели углерода пирогенного происхождения в почвах, поскольку по этому компоненту также недостаточно данных. Модель СВМ-CFS3 полезна для расчетов

вклада в накопление углерода лесами от лесохозяйственной деятельности и изменений землепользования в границах ландшафтов с разновозрастными древостоями.

Модель не подходит для проектов с отслеживанием динамики восстановления, например, лесоразведения на участках добычи полезных ископаемых, увлажненных землях и нарушенных техногенным воздействием, так как для них требуется информация по запасам углерода в почве. СВМ-CFS3 не подходит для сельскохозяйственных, пастбищных и кустарниковых экосистем (т.е. землепользования после сведения лесов), так как динамика биомассы наследует биометрические параметры деревьев, а запасы МОВ и динамика почв определяются только с использованием данных пробных площадей на лесных землях.

СВМ-CFS3 ориентирована на леса, не предусматривает имитацию роста недревесных видов растительности и разработана для применения среднего уровня сложности.

Эта модель прошла экспертизу РКИК ООН и является распространенным инструментом инвентаризации и прогноза накопления углерода лесами, опробованным во многих странах мира [38].

Разработчики указывают на ряд недостатков, присущих модели. Расчеты отталкиваются от данных инвентаризации лесов, собранных на пробных площадях. В этом заключается как достоинство, так и недостаток модели [40]. Положительная сторона состоит в том, что используются данные натурных измерений, а недостаток – в том, что продуктивность древостоя в модели СВМ-CFS3 получена по эмпирическим данным о приросте запасов из таблиц хода роста, которые интегрируют влияние климата и условий местопроизрастания (класс бонитета) на рост древостоев, а не реагируют на текущее состояние климата. Используемый метод не принимает в расчет межгодовую изменчивость климата или отклонение от среднесезонных климатических условий, которые отражаются на росте деревьев, установленном путем измерений на пробных площадях. Если совокупный эффект от повышения плодородия почв из-за осаднения атмо-

сферного азота, увеличения CO_2 и климатических изменений сказывается позитивно на производительности управляемых лесов Канады с того времени, когда были составлены таблицы хода роста, то в результате величина чистой первичной продукции (NPP) будет занижена. Удобряющий эффект от осаднения атмосферного азота с помощью модели отследить невозможно.

Из-за недостатка эмпирических данных по разным экорегионам Канады в модели СВМ-CFS3 не учитывается накопление углерода в «недревесной растительности», к которой относится совокупность подроста, подлеска, лесной подстилки в древостоях и кустарниковая растительность на прочих землях. Исключение из расчетов «недревесной растительности» также влияет на величину потоков мертвого органического вещества и гетеротрофного дыхания, т.е. высвобождения углерода в процессе разложения в пулах почвы, подстилки и мертвой древесины вместе взятых. Кроме того, модель учитывает только изменения среднегодовой температуры, что справедливо для лесов бореальной зоны [45], но не учитывает изменения уровня осадков и т.д. В целом расчеты по модели занижают запасы углерода в лесах [40]. Как правило, эти ограничения, присутствующие модели, при апробации ее для других лесорастительных условий и стран упускают.

Методика учёта поглощения углерода лесами Института мировых ресурсов

Институт мировых ресурсов (World Resource Institute – WRI) в 2005 г. опубликовал доклад [46], который подготовлен на основе коллективной монографии [47].

Главная цель доклада WRI – получение ответа на вопрос: обладает ли Россия данными и системой мониторинга, адекватными требованиям Рамочной конвенции ООН об изменении климата к отчетности по потокам углерода в лесном хозяйстве и землепользовании? В докладе в целом дан положительный ответ на этот вопрос.

В Российской Федерации наземное лесоустройство осуществляется на 62 % площади, дис-

танционные методы применяются для приведения в известность 31 % земель лесного фонда. Получаемые при этом данные могут быть использованы для оценки характеристик, регламентируемых международной климатической отчетностью, включая баланс углерода, потоки углерода в управляемых лесах, изменения в запасах углерода, связанные с обезлесением и облесением, а также с лесоразведением и лесовосстановлением. Методы инвентаризации лесов в России и получаемые при этом данные в целом согласуются с Руководящими указаниями по эффективной практике [2].

Определение пулов и потоков углерода, связанных с рубкой древостоев, проводилось на основании:

- объемов заготовленной древесины по группам лесообразующих пород;
- отчетности об обследовании мест рубок (брошенная ликвидная древесина, недорубы и т. д.).

Запас углерода порубочных остатков (пни, корни, ветви, вершины) рассчитывался по конверсионным коэффициентам для спелых и перестойных насаждений лесообразующих пород, вовлекаемых в рубку.

Размеры пожарных эмиссий устанавливались через структуру пройденных огнем площадей и расходов лесных горючих материалов при верховых, низовых и подземных пожарах. Объемы послепожарного отпада рассчитывали по площадям погибших в результате пожаров лесных насаждений с использованием рассчитанных ранее средних запасов углерода в лесах.

Основные результаты доклада сводились к следующему.

✓ Земли лесного фонда России (включая болота) содержат $36,2 \pm 5,5$ Гт С в биомассе и $289,4 \pm 71,8$ Гт С в почвах. В сумме эти две категории земель содержат $334,1 \pm 86,3$ Гт С.

✓ В среднем запасы углерода лесов составляют $44 \pm 6,5$ т С на 1 га для фитомассы и $162 \pm 37,6$ т С на 1 га для почвы.

✓ Запасы углерода болот в среднем составляют $7,0 \pm 1,5$ т С на 1 га для фитомассы и $633 \pm 182,9$ т С на 1 га для почвы.

✓ Средний запас сельскохозяйственных земель равен $202,2 \pm 65,3$ т С на 1 га.

✓ В среднем для земель лесного фонда (включая болота) и сельскохозяйственных земель запас углерода составляет 238.6 ± 61.6 т С на 1 га.

Прогнозная оценка предполагала, что сток углерода в лесах России вырастет до 70 Мт С в год к 2010 г., а к 2030 г. леса станут источником углерода, поскольку к этому времени современные молодые леса станут старше, и эмиссии от лесозаготовок превысят связанное с ростом лесов поглощение. Тем не менее, в целом для столетия, по прогнозам, сток углерода в лесах России будет составлять 24 Мт С в год. Рост спроса на древесину может на короткое время уменьшить поглощающую способность российских лесов, однако в расчете в среднем на столетие сток углерода в этом случае снизится до 17 Мт С в год.

В докладе WRI рассмотрены 2 альтернативных подхода для оценки экономической привлекательности мер смягчения и адаптации к климатическим изменениям: восходящий и нисходящий. Эти подходы широко используют в исследованиях по экономике и энергетике для обозначения двух классов моделей.

При *восходящем подходе* детально анализируют информацию по экономическим затратам и потенциалу углеродного поглощения в результате данного типа деятельности или отдельного проекта, рассчитывают углеродные «прибыли» и экономические затраты осуществления мер содействия поглощению углерода лесами. Этот подход, как правило, дает оценки средних затрат (стоимость осуществления мер в отношении ко всему поглощенному углероду).

Нисходящий подход основан на анализе сильно агрегированных (часто национального уровня) данных при помощи экономических моделей для оценки предельных затрат поглощения углерода при различных уровнях этого поглощения. Анализ предельных затрат полезен при выборе эффективного комплекса мер для различных уровней поглощения.

Эффективный комплекс включает меры, имеющие сходные предельные затраты поглоще-

ния углерода. Иначе говоря, в пределах эффективного комплекса нельзя достичь сокращения общих затрат путем переключения с одного вида деятельности на другой.

Анализ потенциала мер смягчения климатических изменений осуществлен с использованием восходящего и нисходящего подходов. Комбинированные результаты обоих подходов свидетельствуют, что леса России могут дополнительно поглотить 3,4 Гт С к 2085 г. Если эту величину выразить на годовой эквивалентной основе, то дополнительное поглощение составит 20 Мт С в год (дисконтированная оценка годовой эквивалентной величины) при относительно малых затратах на осуществление мер смягчения, не превышающих 13 долл. за 1 т С.

Эта стоимость заметно ниже, чем средний уровень цен, используемых в европейской системе торговли квотами (по состоянию на сентябрь 2005 г.). При осуществлении крупномасштабных программ, способных привести к поглощению до 24 Гт С в течение столетия [48], уровень затрат может составить до 290 долл. за 1 т С. Площади, доступные для осуществления мер по лесовосстановлению, расположены в основном в Сибири и на Дальнем Востоке. Площади, доступные для облесения, сосредоточены на юге европейской части России.

Наличие нескольких демонстрационных проектов по поглощению углерода, стартовавших в 1990-е гг. (RUSAFOR-SAP в Саратовской области и проект по созданию лесных полос в Воронежской области), свидетельствует, что Россия имеет определенный опыт осуществления проектов смягчения последствий изменения климата. Этот опыт может предоставить России дополнительные возможности по осуществлению мер смягчения последствий изменения климата посредством облесения сельскохозяйственных земель и интенсификации лесопользования.

Краткая характеристика других методик и математических моделей

Имитационное моделирование «отклика» лесных экосистем на климатические изменения и расчет баланса углерода при различных климатических сценариях – популярное и активно развивающееся во всем мире направление научных исследований по проблеме изменения климата. Математические модели, признанные международным научным сообществом и многократно использованные для оценки и прогноза запасов углерода в лесах России и других стран, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Математические модели и системы оценки и прогноза запасов углерода в лесах

СИСТЕМА/МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	ОРГАНИЗАЦИЯ	РАЗРАБОТЧИКИ
ИЗИС IIASA	Международный институт прикладного системного анализа (IIASA), Австрия	А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко, С. Нильссон
EFIMOD+ ROMUL	Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения (ИФХБП РАН), г. Пущино, Россия	А. С. Комаров, О. Г. Чертов
Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода УГЛТУ	Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ), г. Екатеринбург, Россия	В. А. Усольцев
РОБУЛ	Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ РАН), Россия	Д. Г. Замолодчиков
FORRUS	Московский государственный университет леса (МГУЛ), г. Мытищи, Россия	С. И. Чумаченко
CBM-CFS3	Лесная служба Канады (CFS)	W. Kurz
FORCARB2, современная обновленная версия U.S. FOfRest CARBon Budget Model (FORCARB)	Лесная служба США	R. Birdsey

EFIMOD+ROMUL. Из перечисленных математических моделей на локальный пространственный уровень – насаждений лесных экосистем (типов леса) – ориентировано использование комплекса EFIMOD+ROMUL [49, 50]. Модели EFIMOD разработаны в Институте физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ИФХБП РАН) для оценки биологического круговорота углерода и азота в лесных экосистемах бореальных лесов. Система моделей EFIMOD состоит из 4-х составляющих: модели ежегодного прироста биомассы отдельного дерева; индивидуально ориентированной пространственной модели древостоя, состоящего из отдельных деревьев; модели динамики органического вещества почвы ROMUL [41, 51, 52] и генератора климата SCLISS.

В качестве входных данных системе моделей EFIMOD необходимы: видовой состав древостоя на лесотаксационном выделе, возраст, средние высота ствола и диаметр на высоте 1,3 м для каждого элемента леса, число деревьев на 1 га, характеристики пулов органического вещества почвы. С помощью системы моделей EFIMOD и ROMUL можно воспроизвести также различные сценарии влияния использования лесов на изменение баланса углерода на локальном уровне. Вместе с тем требование к детальности исходных данных для калибровки (настройки) модели делает ее малоприменимой для обобщенных региональных оценок баланса углерода.

FORCARB2. Американская модель локального пространственного уровня предназначена для подсчета запасов углерода в каждом из углеродных пулов на уровне насаждения. При этом используют данные инвентаризации лесов, собранные на пробных площадях [53]. Модель отвечает методологическому уровню 3 Руководящих указаний [2] и реализует методический подход по разности запасов углерода в различных резервуарах за определенный период, оперируя детальными данными повторных инвентаризаций лесов, которые регулярно проводятся в США. Это – точный метод оценки изменений общего запаса углерода, поскольку он интегрирует воздействие всех возмущающих факторов, включая при-

родную нарушенность, ведение лесного хозяйства, изменения землепользования и климат. Однако он не обеспечивает оценку межгодовой изменчивости в течение межревизионного периода инвентаризаций. Требуются дополнительные данные для оценки неуглеродных эмиссий от пожаров (CH_4 , N_2O), а также сведения об изменениях характера землепользования.

FORRUS. Математическая и имитационная модель FORRUS [54, 55] первоначально ориентирована на локальный уровень – лесотаксационный выдел. Современная ее версия предназначена для моделирования и на региональном пространственном уровне. Модель FORRUS описывает динамику характеристик древостоя во времени и может быть использована для оценки углеродного баланса. В отличие от комплекса EFIMOD+ROMUL она не сопряжена с почвенной моделью. В экспериментах с этой моделью рассматриваются различные сценарии использования лесов, но применительно к динамике лесотаксационных показателей (видовой состав и продуктивность древостоев при сукцессионных сменах), а не к подсчетам баланса углерода.

Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ). Информационная система направлена на оценку биопродуктивности древостоев. В ходе полевых работ на пробных площадях отбирают модельные деревья, разделяют на фракции: древесину ствола, кору, листву (хвою), древесину ветвей, кору ветвей, корни, взвешивают фитомассу, сушат образцы, исключая из них воду. Это – трудоемкий учетный метод, позволяющий затем пересчитать все надземные и подземные фракции фитомассы, полученные на пробной площади, на уровень лесотаксационного выдела. Проведенные измерения фитомассы дают возможность оценить чистую первичную продукцию разных фракций.

Научным коллективом УГЛТУ под руководством В. А. Усольцева составлена и опубликована наиболее представительная база данных продукционных характеристик лесных насаждений Северной Евразии, которая насчитывает 8 тыс. за-

писей по фитомассе и 1,2 тыс. записей по чистой первичной продукции (NPP) [23, 56]. Эта информация, дополненная данными ГУЛФ, использована для формирования системы оценки фитомассы и NPP в лесах. Первоначально были определены модели, описывающие зависимость фитомассы каждой фракции (стволы в коре, кора ствола, ветви, хвоя, корни, нижние ярусы) от возраста и запаса насаждения с дифференциацией по древесным породам и классам возраста. Для чистой первичной продукции (В. А. Усольцев отождествляет ее с депонированием углерода лесами) найден набор функций от логарифма фракций фитомассы. Полученные уравнения применены для расчета фитомассы и чистой первичной продукции по данным ГУЛФ по лесохозяйственным предприятиям – лесхозам (в современной структуре лесопромышленного управления преобразованы в лесничество).

Для оцениваемых лесхозов сформированы таблицы-матрицы распределений лесопокрытой площади и запаса стволовой древесины по лесобразующим породам и классам возраста. С учетом возраста рубки с целью заготовки древесины, назначенной лесохозяйством по каждой породе, группы возраста переведены в классы возраста. Путем табулирования моделей по объемному запасу древесины и возрасту насаждений каждой

ячейки таблиц-матриц по лесхозам сначала оценивали запасы фитомассы на единицу площади, затем умножая их на лесопокрытую площадь, соответствующую каждой ячейке, рассчитывали запасы фитомассы для всей площади. Суммирование результатов по классам возраста дает итоговые запасы фитомассы по каждой фракции отдельно для каждой породы, а дальнейшее суммирование последних по фракциям и породам позволяет получить итоговые запасы фитомассы для всей площади отдельного лесхоза. Алгоритм совмещения моделей чистой первичной продукции (NPP) с матрицами данных по лесхозам аналогичен таковому для фитомассы с той лишь разницей, что при табулировании моделей в них подставляются величины не только возраста и запаса стволовой древесины, но и найденные ранее величины массы хвои, корней и нижних ярусов. Реализация системы определения и картирования депонируемого лесами углерода осуществлена в среде СУБД ADABAS и редактора приложений Natural.

Оценка бюджета углерода лесов данной информационной системой не предусматривается, так как рассчитывается только приходная часть бюджета – чистая первичная продукция.

Особенности лесов России, участвующих в выбросах и поглощении парниковых газов

Количественная и качественная характеристика лесов Российской Федерации

По данным глобальной оценки лесных ресурсов (FRA 2015) ФАО ООН, общая площадь лесов в мире составляет около 4 млрд га (рис. 3), Российская Федерация является мировым лидером по площади лесов («forest») – более 20 % всех лесов планеты.

Леса произрастают на землях лесного фонда, землях населенных пунктов, землях особо охраняемых территорий, землях промышленности. Леса на этих категориях земель учитываются при ведении государственного лесного реестра



Рис. 3. Площадь лесов 15-ти стран с наибольшей площадью лесов (по данным FRA 2015 ФАО ООН).

Примечание: площадь лесов дана в соответствии с определением термина «лес», принятого для FRA 2015 и не соответствует значению площади в национальных данных, в том числе для Российской Федерации

(ГЛР). Обобщенные данные передаются в справочник Росстата. Древесно-кустарниковая растительность и леса, фактически произрастающие на землях сельскохозяйственного назначения, не учитываются. Российская статистика не имеет данных по лесам на этой категории земель. По экспертной оценке, площадь таких лесов может составлять от 20 до 50 млн га.

По данным ГЛР на 01.01.2015 г., общая площадь земель Российской Федерации, на которых расположены леса, составляет 1 183,4 млн га, в том числе: площадь земель лесного фонда – 1 146,2 млн га, земли лесов особо охраняемых природных территорий – 26,7 млн га, земли лесов населенных пунктов – 1,4 млн га и земли лесов иных категорий – 9,1 млн га, включая земли обороны и безопасности. Покрытые лесной растительностью земли занимают 67,2 % площади всех земель, на которых расположены леса. Кроме того, существуют леса, в отношении которых отсутствуют материалы лесоустройства. Общая площадь таких лесов – 710,5 тыс. га.

Леса, расположенные на землях лесного фонда, по целевому назначению подразделяются на защитные (24,3 %), эксплуатационные (52,2 %) и резервные (23,5 %).

К землям лесного фонда (96,9 % всех земель, на которых расположены леса) относятся лесные земли (земли, покрытые лесной растительностью и не покрытые лесной растительностью, но предназначенные для ее восстановления, – вырубки, гари, редины, прогалины и др.) и предназначенные для ведения лесного хозяйства нелесные земли (просеки, дороги, болота и др.). Лесные земли занимают 75,4 %, нелесные земли – 24,6 % общей площади земель лесного фонда. В пределах лесных земель покрытые лесной растительностью составляют 89,1 %, не покрытые лесной растительностью – 10,9 %.

В целом наблюдается положительная временная динамика общей площади лесов. С 1956 г. площадь лесопокрытых земель увеличилась на 20 % и в 2015 г. составила 770,1 млн га. Общее увеличение площади лесопокрытых земель связано также с сокращением площадей невозобновившихся гарей и вырубок. С 1988 г. об-

щая площадь гарей сократилась на 5 млн га, а вырубок – на 3 млн га. В целом площадь не покрытых лесной растительностью земель уменьшилась с 1956 г. на 40 млн га. Возможно, это связано с глобальным потеплением климата, так как в бореальной зоне период естественного восстановления леса сократился на 1–2 года, увеличилась продолжительность вегетационного периода на 10–15 сут, граница леса заметно продвинулась на север. По экспертным оценкам, граница распространения лесов могла продвинуться на север на 50–100 км, особенно по берегам и долинам рек. Сокращение площади не покрытых лесной растительностью земель произошло не только естественным путем, но и в результате соответствующих мер содействия естественному возобновлению, а также за счет создания лесных культур путем посадки хозяйственно-ценных древесных пород.

Лесистость территории Российской Федерации, т. е. отношение покрытой лесной растительностью площади к общей площади страны составляет 46,5 %. По территории страны леса распространены неравномерно, в зависимости от физико-географических условий, климатических и антропогенных факторов.

Основными лесобразующими породами являются лиственница, сосна, ель, кедр, дуб, бук, береза, осина. Они занимают около 90 % земель, покрытых лесной растительностью, в том числе лесобразующие породы хвойной группы – 68,2 %, твердолиственной – 2,4 %, мягколиственной – 19,6 %. Древостоями лиственницы занято 35,7 %, сосны – 15,5 %, ели – 10,1 %, березы – 15,3 % общей площади лесопокрытых земель.

Прочие древесные породы (груша, каштан, орех грецкий, орех маньчжурский и др.) составляют менее 1 % земель, кустарники (кедровый стланик, ива, береза кустарниковая и др.) – 9,7 %.

На землях лесного фонда преобладают спелые и перестойные насаждения, доля которых составляет 43,9 %, молодняки занимают 17,3 %, средневозрастные – 28,2, приспевающие – 10,7 % лесопокрытой площади. Десять лет назад спелые и перестойные древостои занимали 47 %, молодняки – 19 %, средневозрастные – 24 %, а приспе-

вающие – 10 % площади земель лесного фонда страны. Реальная возрастная структура земель лесного фонда Российской Федерации далека от эталонного нормального распределения, что связано, прежде всего, с избытком или дефицитом спелого леса. Причинами этого являются экстенсивная лесоэксплуатация в северных и восточных районах страны. Для восстановления баланса возрастной структуры лесов устанавливаются нормы отпуска древесины на корню с помощью расчетной лесосеки, однако конъюнктура прошлых лет нередко нарушала эти нормы.

По данным ФАО ООН (FRA 2015), запас древесины в лесах Российской Федерации составляет 15,4 % мирового запаса, по этому показателю она занимает второе место после Бразилии (рис. 4).

Государственный лесной реестр на 01.01.2015 г. оценивает общий запас древесины в лесах, расположенных на землях лесного фонда и на землях других категорий, в объеме 82,79 млрд м³, в том числе на землях лесного фонда – 79,70 млрд м³ (табл. 3).

На землях лесного фонда средний запас древесины на 1 га составляет 103 м³, в эксплуатационных лесах – 120 м³, в спелых и перестойных насаждениях (без кустарников) – 135 м³, в лесах, возможных для использования в целях заготовки древесины, – 165 м³.

Общий запас древесины на землях лесного фонда увеличился с 72,4 млрд в 1966 г. до 79,7 млрд м³ в 2015 г. (см. табл. 3). За тот же период запас спелых и перестойных древостоев уменьшился на 9 млрд м³.

Средний запас древостоев уменьшился со 113 м³/га в 1956 г. до 103 м³/га в 2015 г. По-видимому, происходит постепенное «омоложение» лесов за счет рубок, лесных пожаров и, главным образом, за счет перевода в земли лесного фонда сельскохозяйственных угодий, заросших моло-

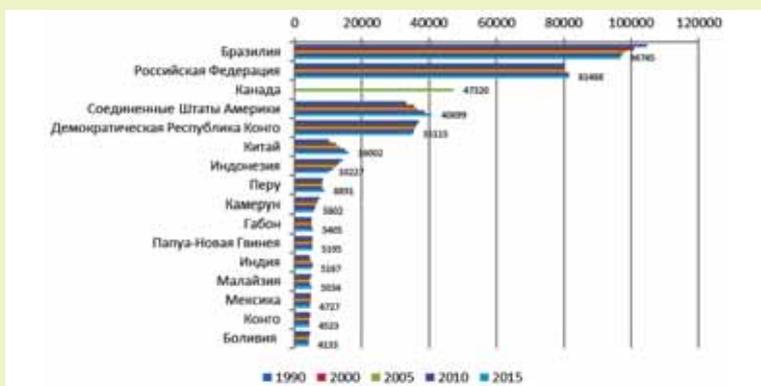


Рис. 4. Тенденции изменения запасов древесины в лесах мира за 1990–2015 гг., млн м³

Примечание: Запас, как и площадь лесов, не соответствует национальным данным Российской Федерации, поскольку пересчитан в соответствии с методикой FRA 2015

Таблица 3. Динамика запаса и среднего прироста древесины в лесах, расположенных на землях лесного фонда (по данным государственного учета лесного фонда и государственного лесного реестра)

Год учета	ЗАПАС ДРЕВСИНЫ		В том числе запас спелых и перестойных древостоев		Средний годичный прирост запаса	
	Общий, млн м ³	В среднем, м ³ /га	Общий, млн м ³	Эксплуатационных лесов	Общий, млн м ³	м ³ /га
1956	72 331	113	н.д.	н.д.	768,1	1,20
1966	72 424	110	52 802	27 254	792,1	1,20
1973	73 008	108	51 758	27 865	821,1	1,21
1983	74 089	105	48 589	28 273	838,6	1,18
1993	71 642	102	41 536	25 717	822,1	1,16
1998	74 129	103	42 094	23 296	853,9	1,19
2003	74 491	102	42 154	22 993	886,7	1,21
2008	76 404	102	42 633	23 416	947,3	1,27
2013	79 930	104	44 093	28 742	1 019,6	1,32
2014	79 889	104	44 200	28 857	1 017,6	1,32
2015	79 698	103	44 199	28 874	1 014,8	1,32

дым лесом. Снижение среднего запаса древесины можно объяснить также запаздыванием актуализации запасов в ходе обновления устаревших данных лесоустройства. Так, с 1956 по 2015 г. площадь лесопокрытых земель увеличилась на 20 %, тогда как общий запас древесины возрос лишь на 10 %.

В резервных лесах насчитывается до 20 % общего количества запасов спелой и перестойной древесины со средним запасом 88 м³/га. Основная их часть расположена в северной части ареала лесной растительности в зоне вечной мерзлоты. Они труднодоступны, поэтому бесперспективны для промышленной заготовки древесины в ближайшие 20 лет. Главное назначение этих лесов – экологическое, а также накопление и сохранение углерода.

Общий средний годичный прирост запаса древесины на землях лесного фонда России составил 1,01 млрд м³/год, а средний прирост запаса на землях, покрытых лесной растительностью, – 1,32 м³/га/год. Наибольшие значения среднего прироста запаса – более 5,0 м³/га в год – отмечены в Калининградской области, от 4,1 до 5,0 м³/га – в зоне смешанных лесов и лесостепи европейской территории России, а наименьшие значения – менее 0,5 м³/га в год – в зоне лесотундры Сибири и Дальнего Востока.

В Европейско-Уральской части Российской Федерации, где изученность лесов основана на многократном повторном лесоустройстве, динамика показателей продуктивности отражает реальную картину, из которой следует четкая закономерность увеличения прироста. Это связано с сокращением доли спелых и перестойных древостоев и ее увеличением в наиболее продуктивной средневозрастной группе. На увеличение общего среднего прироста древесины оказала влияние приемка более молодых бывших колхозных и совхозных лесов, а также увеличение площади лесопокрытых земель.

С 1988 г. наблюдается устойчивая тенденция увеличения среднего прироста запаса древесины – с 1,07 до 1,32 м³/га в год. В 2015 г. средний прирост хвойных составил 1,12 м³/га в год, а мягколиственных – 2,39 м³/га в год.

Возможно, увеличение среднего прироста запаса древостоев на землях лесного фонда происходит и по другим причинам:

- совершенствование методов таксации и лесоустройства;
- глобальное потепление климата и увеличение концентрации CO₂;
- удобряющий эффект соединений азота, поступающих с атмосферными осадками.

Характеристика лесов, участвующих в выбросах и поглощении парниковых газов

Леса России – по преимуществу бореальные (88 %), наибольшая их часть произрастает в таежной лесорастительной зоне, а также в переходной зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов (табл. 4). Бореальные леса – это крупнейшая непрерывная экосистема на Земле, покрывающая около 14 % территории суши планеты, пригодной для произрастания растений. Бореальные леса формируют своего рода «зеленый пояс», охватывающий Северное полушарие полосой разной ширины и проходящий через Россию, Аляску, Канаду и Скандинавию, приблизительно между 45 и 70° с. ш. Общая площадь бореальных лесов мира составляет около 1,4 млрд га, или 38 % общей лесопокрытой площади мира. Большая часть бореальных лесов планеты находится в России.

По данным ФАО ООН (FRA 2015), более 33,6 % площади лесов Российской Федерации по своему происхождению являются коренными (девственными) лесами, 64 % представлены насаждениями естественного происхождения, возникшими после пожаров и рубок, и только 2,4 % древостоев классифицируются как лесные культуры (18,86 млн га на землях лесного фонда).

Крупнейшие массивы коренных лесов расположены в отдаленных и малонаселенных районах Севера, причем, чем южнее расположен лесной массив, тем большему антропогенному воздействию он подвергается.

**Таблица 4. ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ ЗОНЫ И ЛЕСНЫЕ РАЙОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(по данным Рослесинфорга)**

ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ ЗОНЫ И РАЙОНЫ	Площадь лесных земель, млн га	Площадь лесопокрытых земель		Запас древесины	
		млн га	%	млрд м ³	м ³ /га
1. Зона притундровых лесов и редкостойной тайги	152.89	136.65	17.14	5.46	40
-Район притундровых лесов и редкостойной тайги Европейско-Уральской части Российской Федерации	18.26	16.32	2.05	1.10	67
-Западно-Сибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги	17.14	15.32	1.92	1.12	43
-Среднесибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги	3.92	3.50	0.44	0.11	31
-Восточно-Сибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги	78.96	70.58	8.85	1.89	27
-Дальневосточный район притундровых лесов и редкостойной тайги	34.61	30.93	3.88	1.03	33
2.Таежная зона	554.88	495.96	62.22	55.29	111
-Северо-таежный район европейской части Российской Федерации	31.59	28.23	3.54	2.40	85
-Средне-таежный район европейской части Российской Федерации	34.50	30.83	3.87	4.26	138
-Южно-таежный район европейской части Российской Федерации	21.73	19.42	2.44	3.59	185
-Северо-Уральский район	13.66	12.21	1.53	1.40	115
-Средне-Уральский район	21.17	18.92	2.37	3.08	163
-Южно-Уральский район	7.39	6.61	0.83	1.07	162
-Западно-Сибирский равнинный таежный район	58.47	52.26	6.56	7.75	148
-Приангарский таежный район	48.50	43.35	5.44	3.01	69
-Среднесибирский плоскогорный таежный район	94.76	84.70	10.63	6.04	71
-Восточно-Сибирский таежный мерзлотный район	121.42	108.52	13.61	13.66	126
-Дальневосточный таежный район	87.93	78.59	9.86	8.29	105
-Камчатский таежный район	13.78	12.31	1.54	0.94	76
3.Зона хвойно-широколиственных лесов	44.47	39.74	4.99	7.19	181
-Район хвойно-широколиственных лесов европейской части Российской Федерации	28.34	25.33	3.18	4.84	191
-Приамурско-приморский хвойно-широколиственный район	16.13	14.42	1.81	2.35	163
4. Лесостепная зона	51.86	46.35	5.82	5.35	115
-Лесостепной район европейской части Российской Федерации	6.38	5.71	0.72	1.02	178
-Западно-Сибирский подтаежно-лесостепной район	14.34	12.81	1.61	1.86	145
-Среднесибирский подтаежно-лесостепной район	17.36	15.52	1.95	1.27	82
-Забайкальский лесостепной район	6.83	6.11	0.77	0.61	100
-Дальневосточный лесостепной район	6.94	6.21	0.78	0.59	95
5. Степная зона	3.25	2.90	0.36	0.30	102
-Район степей европейской части Российской Федерации	3.25	2.90	0.36	0.30	102
6. Зона полупустынь и пустынь	0.11	0.10	0.01	0.00	49
-Район полупустынь и пустынь европейской части Российской Федерации	0.11	0.10	0.01	0.00	49
7. Зона горного Северного Кавказа	3.25	2.90	0.36	0.70	240
-Северо-Кавказский горный район	3.25	2.90	0.36	0.70	240
8. Южно-Сибирская горная зона	81.21	72.58	9.11	9.11	125
-Алтае-Саянский горнотаежный район	22.29	19.92	2.50	3.43	172
-Алтае-Саянский горнолесостепной район	8.29	7.41	0.93	1.20	162
-Байкальский горный лесной район	18.93	16.92	2.12	2.04	121
-Забайкальский горномерзлотный район	31.70	28.33	3.55	2.43	86
ИТОГО ПО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	891.10	794.74	100.00	82.79	103

Характер лесной растительности складывается под влиянием многих факторов (климатических, эдафических, антропогенных, исторических и т.п.). Однако основным фактором, оказывающим влияние на растительность, является климатический. Например, в таежной зоне в силу различия почвообразующих пород иногда меняется состав древесных пород (ель, сосна), но все же бореальные леса всюду сохраняют свой облик.

Одним из важных экологических факторов, определяющих бореальный характер лесов, является продолжительное наличие снежного покрова в зимние месяцы. Он предохраняет почву от низких температур, создавая микроклимат, играющий важную роль в выживании многих растений и животных. Однако во многих районах произрастания бореальных лесов почва промерзает, а во многих районах, преимущественно в Сибири, лес растет на вечной мерзлоте.

Приблизительно 1/3 площади бореальных лесов относится к резервным, которые пока подвергаются незначительному воздействию лесохозяйственных мероприятий и другой антропогенной деятельности. В целом крупнейшие массивы малонарушенных лесов расположены в отдаленных и малонаселенных районах Севера.

В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации (2006), к резервным относятся леса, в которых в течение 20 лет не планируется осуществлять заготовку древесины. В резервных лесах проводят авиационные работы по охране и защите лесов. На лесных участках, имеющих общую границу с населенными пунктами и объектами инфраструктуры, осуществляются меры пожарной безопасности, указанные в части 1 статьи 53 настоящего Кодекса, и тушение лесных пожаров (часть 2 в ред. Федерального закона от 29.12.2010 № 442-ФЗ). Допускается хозяйственное использование резервных лесов, но без проведения рубок лесных насаждений.

Проведение рубок лесных насаждений в резервных лесах разрешается только после их отнесения к эксплуатационным или защитным лесам, за исключением случаев проведения рубок лесных насаждений в резервных лесах при выполне-

нии работ по геологическому изучению недр и заготовке гражданами древесины для собственных нужд (часть 3 в ред. Федерального закона от 22.07.2008 № 143-ФЗ). Отнесение лесов к резервным, установление и изменение их границ осуществляются органами государственной власти, органами местного самоуправления в пределах их полномочий, определенных в соответствии со статьями 81-84 настоящего Кодекса.

Резервные леса служат источником получения древесины для местного населения. Одновременно они имеют большое водоохранное, водорегулирующее, почвозащитное, климаторегулирующее, санитарно-гигиеническое и экологическое значение. Отнесение к резервным лесам осуществляется по материалам лесоустройства, инвентаризации земель лесного фонда или данным других специальных обследований. Резервные леса выделяют в пределах лесничеств, как правило, целыми учетными единицами: лесными кварталами или урочищами. Критерии для выделения резервных лесов устанавливаются федеральным органом исполнительной власти в области лесного хозяйства. Основанием для отнесения части эксплуатационных лесов к резервным является постановление или распоряжение исполнительной власти субъекта Российской Федерации.

На 01.01.2014 г. площадь резервных лесов в России составила 270,1 млн га (23,5 % общей площади лесов) с запасом древесины около 24 млрд м³. Они сосредоточены, главным образом, в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Покрытые лесной растительностью земли (173 млн га, 63 %) представлены преимущественно насаждениями с преобладанием лиственницы, сосны и ели (72 %). Спелые и перестойные древостои занимают около 44 % площади резервных лесов. Средний запас древостоев на покрытых лесной растительностью землях резервных лесов – 73 м³/га. Низкая продуктивность древостоев (0,75 м³/га/год) обусловлена суровыми почвенно-климатическими условиями. Около 1/4 площади резервных лесов представлено нелесными землями (болота, крутые склоны, гольцы, каменистые россыпи).

К наиболее интенсивно используемым бореальным лесам относятся леса западной части России. Бореальные леса оказывают влияние на климат планеты, обеспечивая баланс теплового излучения и играя важную роль в глобальном углеродном цикле.

Важным фактором продуктивности бореальных лесов является содержание в почве азота в доступной форме. Это – одно из возможных объяснений того, почему более высокие температуры и увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере не приводят к усилению роста лесов на бедных почвах. Одним из подтверждений сказанного является зафиксированное усиление роста лесов в районах, где влага и содержание питательных элементов не являются ограничивающими факторами, а именно: в европейской части России и на востоке Северной Америки. Эти части бореального пояса, расположенные в населенных и промышленно освоенных регионах, подвергаются воздействию антропогенного азота. В некоторых местах концентрация азота в почве там превышает естественный уровень в 10 раз. Однако воздействие антропогенного азота наблюдается не более чем на 30 % общей территории пояса бореальных лесов, на остальной части содержание доступного азота в почве по-прежнему остается одним из факторов, ограничивающих рост древостоев.

Непосредственным и наиболее очевидным для понимания «ответом» бореальных лесов на глобальное потепление является смещение ареалов растений и, в итоге, лесорастительных зон к

северу. Согласно ряду моделей, на протяжении XXI в. произойдет смещение ареалов деревьев на север (в среднем на 500 км и более), при этом крупные территории, в настоящее время занятые тундрой, превратятся в бореальные леса. В модельных прогнозах этот фактор пока не учитывается.

Результатом глобального потепления может стать формирование лиственных бореальных лесов и исчезновение вечнозеленых видов. Кроме того, прогнозируемый рост температуры может стать причиной таяния вечной мерзлоты на больших пространствах современной зоны бореальных лесов. А это, возможно, приведет к трансформации лесных почв и создаст лесорастительные условия, которые пока не имеют аналогов.

Бореальные леса кардинально отличаются от тропических лесов:

а) они довольно быстро восстанавливаются (через 3–5–7 лет), часто со сменой пород после рубок и пожаров, если не происходит заболачивание вырубок и гарей;

б) в них происходит значительное накопление запаса углерода в мертвом органическом веществе, как в надземном (детрите), так и в почве;

в) в них климакс (баланс прихода и расхода фитомассы и газообмена) наступает через 300–600 лет после восстановления на лесных пожарах и сплошных вырубках.

Эти особенности бореальных лесов, значительно влияющие на накопление углерода, не учитывались математиками и программистами при составлении глобальных климатических моделей, так как исходные параметры и временные тренды продуктивности базируются на данных пробных площадей, заложенных, главным образом, в тропических лесах [58, 59]. В результате первые глобальные оценки поглощения CO₂ растительностью суши были существенно занижены.

Последние данные глобальной оценки лесных ресурсов ФАО ООН (FRA 2015) показали разнонаправленность динамики запаса стволовой древесины и динамики запаса углерода живой фитомассы, полученных в ходе реализации Рамочной конвенции ООН по изменению климата. Такая разнонаправленность трендов не может существовать в природе леса. Результаты FRA 2015

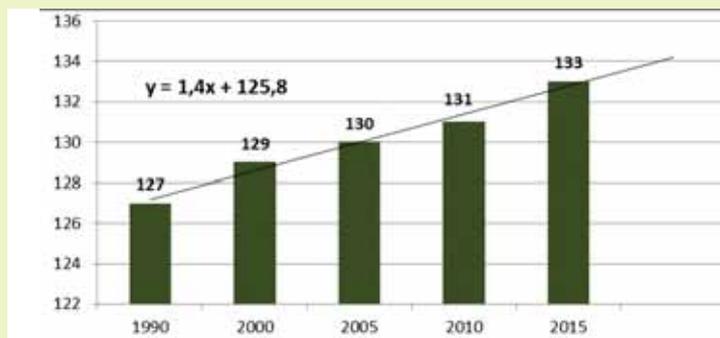


Рис. 5. Тренд среднего глобального запаса древесины, м³/га (по данным FRA 2015)

показали, что площадь и запасы бореальных лесов увеличиваются (рис. 5), а площадь и запасы тропических лесов – уменьшаются. Тенденция к увеличению запасов и прироста древесины отмечена и в бореальных лесах Российской Федерации. Так, например, с 1990 по 2015 г. темпы роста запаса древесины в Российской Федерации составили 57,9 млн м³/год, тогда как в Бразилии темпы сокращения запаса лесов определены в размере 319,4 млн м³/год.

Антропогенный и природный характер изменений, влияющих на параметры учета баланса CO₂

Для более глубокого понимания механизмов воздействия глобального потепления на бореальные леса необходимо принимать во внимание влияние климатических изменений на ряд важных факторов, оказывающих воздействие на леса. Нарушения экосистем являются движущей силой динамики (сукцессий) растительности бореального биома. Рубки древостоев, лесные пожары, ветровалы, гибель деревьев вследствие вспышек численности насекомых играют важную роль в формировании лесных экосистем.

Пожары играют особенно значимую роль, поскольку влияние данного фактора охватывает значительные территории, и он оказывает глубокое воздействие на лес и почвы. В среднем за год площадь лесных и нелесных земель, пройденных лесными пожарами с 2000 г. на территории Российской Федерации, составила приблизительно 2 млн га.

За исключением регионов, в которых лесохозяйственные мероприятия снижают риск возгорания и в которых эффективно применяются меры по подавлению лесных пожаров, в последние десятилетия по всей бореальной зоне пожары стали возникать чаще; наблюдается рост лесных площадей, пройденных огнем. Следует отметить значительное расхождение официальных данных с информацией спутникового наблюдения. Данные ДЗЗ по пожарам охватывают все площади, на ко-

торых отмечен пожар, включая сельхозпалы и пожары на других категориях земель. Тем не менее, и официальная информация, и данные спутникового наблюдения отмечают рост площади лесов, пройденной огнем. В годы с нормальной пожарной обстановкой около 10 % площади, пройденной огнем, приходится на верховые пожары.

По данным А. З. Швиденко и соавт. [59], разработаны 4 климатических модели динамики лесных пожаров в России и Канаде в условиях более теплого климата. Согласно этим моделям, угроза крупных лесных пожаров существенно возрастает для обеих стран при повышении среднегодовой температуры на планете выше 2 °С. Тем не менее, возможности данных моделей по прогнозированию динамики возгораний весьма ограничены.

Согласно прогнозам, продолжительность пожароопасного периода в бореальных лесах России к концу нынешнего столетия может возрасти на 12–30 % в том случае, если среднегодовая температура повысится на 2 °С. Наибольшее увеличение продолжительности ожидается в южной части бореальной зоны, как в европейской части России, так и в Сибири. Таким образом, изменение режима горимости лесов может оказать на бореальные леса не меньшее влияние, чем само потепление. Наиболее вероятным последствием лесных пожаров станет смена хвойных древостоев малоценными лиственными, но более продуктивными в отношении годичного поглощения углерода.

В условиях более теплого климата ожидается увеличение частоты и интенсивности вспышек численности насекомых, площади очагов вредителей и болезней леса. В настоящее время в среднем по Российской Федерации площадь очагов вредных лесных организмов составляет около 4,0 млн га.

Согласно прогнозам МГЭИК [60], в бореальной зоне потепление климата вызовет учащение аномальных метеорологических явлений, включая ураганы. С большой вероятностью это приведет к росту повреждений бореальных лесов вследствие ветровала и бурелома. Другим вероятным негативным фактором является подтопление и гибель лесов из-за нарушения гидрологического режима при таянии верхних слоев

вечной мерзлоты, поскольку более глубокие, не растаявшие слои мерзлоты не позволят воде просачиваться в нижние слои материнской породы. Вследствие глобального потепления ожидается перемещение южной границы вечной мерзлоты на несколько сот километров севернее. Наиболее серьезные изменения могут затронуть низменности Западной Сибири.

В 2014 г. общая площадь погибших лесных насаждений составила 512,9 тыс. га (в том числе 238,7 тыс. га хвойных древостоев), что на 108,7 тыс. га меньше, чем в 2013 г.

Главной причиной гибели лесных насаждений являются пожары, усыхание от которых выявлено на площади 378,3 тыс. га (73,8 %), а также воздействие неблагоприятных погодных условий и почвенно-климатических факторов – 47,8 тыс. га (9,3 %), повреждения насекомыми – 41,9 тыс. га (8,2 %) и болезнями леса – 38,2 тыс. га (7,4 %).

Наиболее распространенным видом использования лесов остается заготовка древесины. По состоянию на 2014 г., расчетная лесосека (допустимый объем изъятия древесины) по лесам, произрастающим на землях лесного фонда, составляла 693,37 млн м³. Объем заготовки древесины – 202,76 млн м³.

Таким образом, годовые потери древесины, которые учтены в ГЛР (вызванные внешним воздействием), в лесном биоме Российской Федерации складываются из следующих основных статей:

а) потери запаса и прироста лесных насаждений, погибших от пожаров, ветровалов, а также усохших в очагах вредителей и болезней леса;

б) объем вырубленного и вывезенного круглого леса (в лесоводстве его традиционно относят к годовому приросту со знаком минус, так как вся вывезенная древесина покидает пределы лесного биома).

Существуют и другие потери древесины, которые не могут быть отражены в ГЛР, – увеличение отпада и снижение текущего прироста в древостоях, пройденных низовыми пожарами, а также поврежденных вредителями и болезнями.

С неопределенностью $\pm 30\%$ можно рассчитывать средние за 10 лет (2005–2014 гг.) годовые

потери стволовой древесины биома, приняв снижение прироста древостоев, пройденных низовыми пожарами, и в очагах вредителей и болезней леса в объеме 0,5–1,5 м³/га, потери среднего прироста погибших лесных насаждений – приблизительно 2–4 м³/га, средний за 10 лет объем вырубленного и вывезенного круглого леса – 185 млн м³/год.

Простейшие расчеты показали, что суммарные текущие потери древесины в лесах Российской Федерации составляют приблизительно 205 \pm 60 млн м³/год, а общий средний (чистый) прирост древесины – 1 015 млн м³/год.

Таким образом, с учетом внешних потерь средний годовой прирост запаса древостоев достигает 1220 млн м³/га/год. В пересчете на всю живую фитомассу (ветвей, корней, пней, коры, листьев/хвои и проч.) он соответствует чистой экосистемной продукции (net ecosystem production – NEP) в экологии.

К сожалению, в ГЛР не учитывается естественный годовой отпад отмерших деревьев, что позволило бы учесть полный, истинный прирост (gross annual increment – GAI) древостоев, который перекрывает потерю отмерших деревьев (скрытый прирост) и проявляется как видимый, измеряемый (чистый) прирост в живых деревьях (годовое изменение запаса растущего леса). В силу трудностей измерения отмершей части древостоев (сухостой, валежник) и его малоценности, полный годичный прирост обычно не учитывается при таксации. Не берут его также в расчет в региональных и глобальных моделях, которые существенно занижают углеродный потенциал бореальных лесов. Можно ожидать, что закладка постоянных и временных пробных площадей в ходе ГИЛ позволит учесть все естественные и антропогенные потери в лесах Российской Федерации.

Таблицы хода роста [61] дают некоторое представление о размерах естественного отпада. Для расчетов полного годичного прироста древесины нами были рассчитаны долевые значения отпада (%) от известных значений среднего изменения запаса (рис. 6). В расчет вошли все классы бонитета, приведенные в ГЛР.

Результаты расчетов показали, что в период активного накопления запаса доля отпада в группе хвойных пород составляет 30–50 %, в группе твердолиственных – 30–40 % и в группе мягколиственных – 25–35 % среднего изменения запаса. Моделирование на основе данных ГЛР с использованием таблиц хода роста [61] продемонстрировало, что суммарный естественный отпад стволовой древесины в лесах Российской Федерации составляет не менее 310 ± 90 млн м³/год.

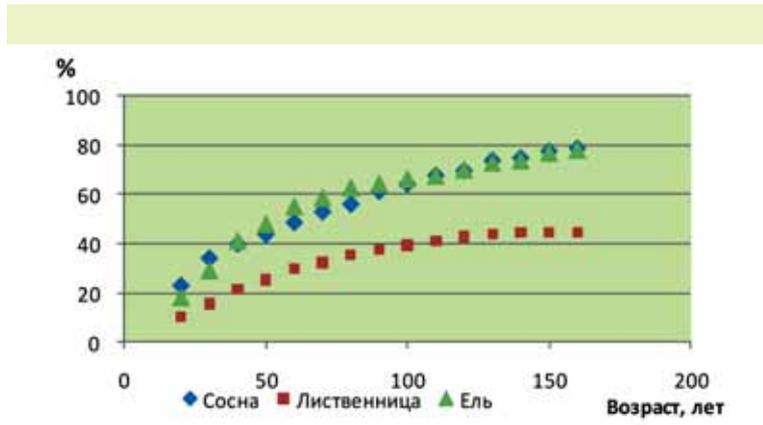
Таким образом, валовый годовой прирост стволовой древесины (Gross Annual Increment – GAI) в лесах Российской Федерации в настоящее время достигает приблизительно $1\,530 \pm 300$ млн м³/год. Основу неопределенности оценки составляют объемы заготовки древесины и запас погибших древостоев после пожаров и ветровалов.

Продуктивность лесов в зависимости от условий местопроизрастания, возрастной структуры и других параметров

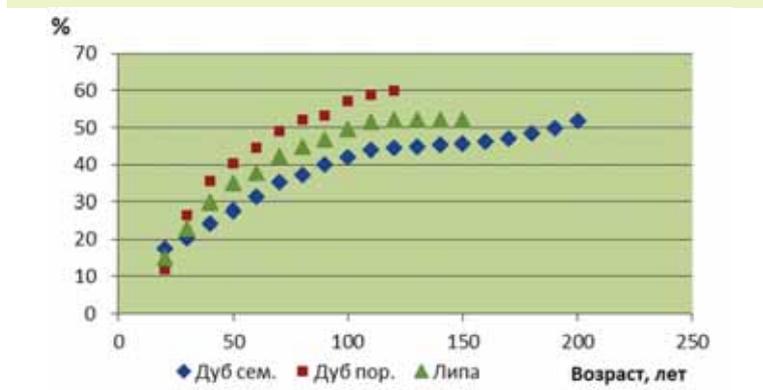
Возрастная динамика чистой биомной продукции сосны I, III и V классов бонитета приведена на рис. 7. Динамика хода роста экосистем сосны по I классу бонитета характерна для благоприятных условий произрастания в зоне хвойно-широколиственных лесов, III класса бонитета – для условий средней тайги и V класса бонитета – для северной тайги и заболоченных местообитаний в других зонах. В возрасте технической спелости (80–100 лет) депонирование углерода снижается до 1–3 т С/га/год, а в перестойных насаждениях – до 0,5 т С/га/год.

В целом по возрастным категориям чистая биомная продукция углерода в лесах Российской Федерации обеспечивается молодняками – 28 %, средневозрастными – 37 %, приспевающими – 13 %, спелыми и перестойными насаждениями – 22 % (рис. 8).

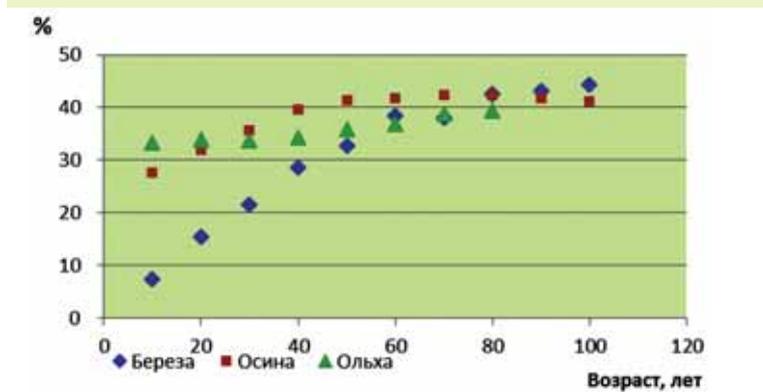
Таким образом, наибольший вклад в депонирование углерода (65 %) вносят молодняки и средневозрастные насаждения, на долю которых приходится только 30 % общего запаса древеси-



а) группа хвойных пород



б) группа широколиственных пород



в) группа мягколиственных пород

Рис. 6 Динамика естественного отпада древесины, % среднего изменения запаса

ны. Это еще раз доказывает негативную роль накопления перестойных, особенно мягколиственных древостоев, в лесах страны.

Одной из наиболее сложных проблем в экологии и лесоведении является исследование динамики запаса углерода лесных почв. Количес-

венные оценки накопления и расхода (эмиссии, выщелачивания, эрозии) органического вещества в почве чрезвычайно затруднены. Без восстановления картины естественного развития почвенного покрова и газообмена невозможно правильно определить тенденции дальнейшего изменения изучаемых лесных экосистем и, следовательно, прогнозировать их состояние [62].

Эволюция почв – это их изменение во времени в процессе сложного взаимодействия факторов почвообразования, направленное на достижение равновесного состояния с существующей физико-географической обстановкой. В ходе эволюции формируется почва, которая находится в равновесии или в квазиравновесном состоянии по отношению к климату и растительности. Согласно В. О. Таргульяну [63], «молодые» динамически зрелые почвы – это почвы, возраст которых составляет тысячи и десятки тысяч лет. Таков возраст современных лесных почв Российской

Федерации, сформировавшихся в послеледниковый период. Ежегодное накопление органического вещества в лесных почвах (минерализация, гумификация) происходит в очень небольших объемах и практически не поддается измерению, так как скорость накопления (или расходования) лежит в пределах ошибки измерения запаса органического вещества (ОВ) почвы.

Не менее сложный вопрос – оценка динамики запаса углерода водно-болотными системами. Торфяные болота таежной зоны, которые включают обширные торфяные массивы Западной Сибири, хранят примерно такое же количество углерода, какое поступило в атмосферу в результате сведения лесов и сжигания ископаемого топлива. Торфяные болота чувствительны к изменениям климата. Даже небольшие изменения водного режима могут привести к тому, что хранящиеся в них запасы углерода снова вернутся в атмосферу.

Тенденция к формированию в южной части Западной Сибири более сухого климата в XXI в. означает понижение уровня грунтовых вод. Это, в свою очередь, приведет не только к тому, что углерод, накопленный в торфяных отложениях, начнет возвращаться в атмосферу, но и к увеличению риска возникновения торфяных пожаров (<http://www.nature.com/articles/srep24784>).

Болотные экосистемы тоже подвержены влиянию изменения климата, однако существующей на данный момент информации недостаточно, чтобы сделать определенные заключения о возможных направлениях и скорости их изменения.

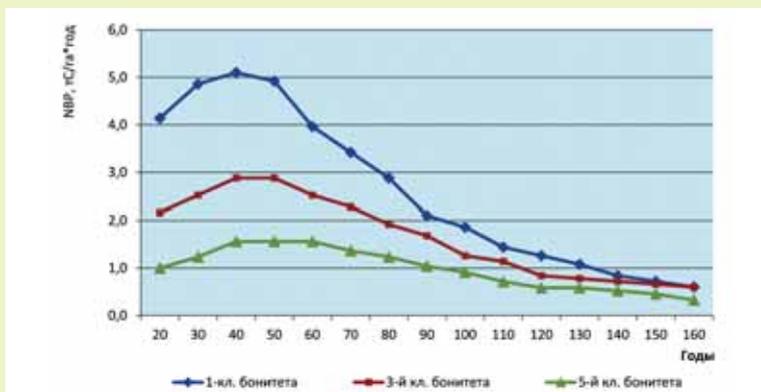


Рис. 7. Возрастная динамика чистой биомной продукции (NPP) сосняков Российской Федерации, т/га/год

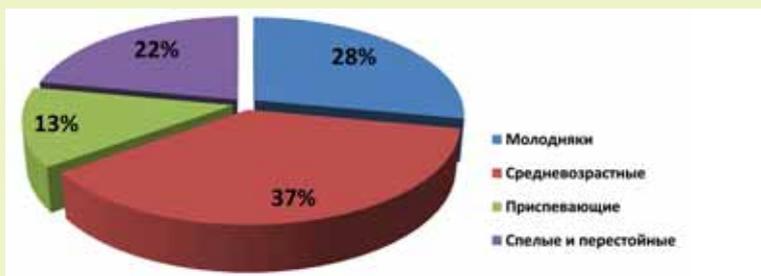


Рис. 8. Долевое участие возрастных групп лесов Российской Федерации в годичном накоплении углерода, %

Сравнительный анализ существующих оценок поглощения лесами России CO₂ из атмосферы

В настоящее время существует значительное количество публикаций, освещающих различные аспекты углеродного бюджета лесов России. В большинстве публикаций рассматриваются отдельные регионы страны [10, 64, 65], так называемые «управляемые леса» [12, 66], отдельные

лесные формации [67] и процессы углеродного обмена, протекающие в почвах [68], или влияние нарушений, в частности пожаров [69, 70], на углеродный баланс. С научной точки зрения, только полный учет всех лесов страны представляет достаточно надежный базис для оценки баланса углерода, поскольку оценить отклики и обратные связи всего лесного биома при условии, что рассматривается только некоторая ее часть, невозможно.

Первый существенный шаг в определении количественной биопродуктивности нашей страны сделан в работе Л. Е. Родина и Н. И. Базилевич [71]. В этой работе для основных природных зон – от тундр до тропиков и саванн – по данным 150 пробных площадей были приведены показатели запасов органического вещества и биологического круговорота главнейших типов растительности суши. Затем на этой основе построены планетарные картосхемы названных показателей [72].

При подведении итогов Международной биологической программы (МБП) в 1970-х гг. были опубликованы наиболее полные для того периода данные о фитомассе лесов СССР в количестве 194 определений [73–76], затем для лесов Сибири в количестве 114 определений [77, 78]. Следует отметить работы [79–81], внесшие значительный вклад в изучение биологической продуктивности лесов на постоянных пробных площадях. Завершающий этап был представлен уникальной справочной монографией Н. И. Базилевич ([82] по первичной продуктивности экосистем (не только лесных) Северной Евразии, где был использован наиболее обширный на тот момент материал (база данных) – более 2,5 тыс. пробных площадей. В работе было доказано, что накопление и долговременное депонирование углерода происходит не только в живой, но и в мертвой биомассе. Впервые были определены количественные данные подземной живой фитомассы.

Работы Н. И. Базилевич с коллегами, как и другие подобные исследования на пробных площадях, были основаны на экстраполяции точечных значений биопродуктивности лесов на территорию региона или целого биома. Данные ГУЛФ при этом не использовались.

Наиболее полная сводка по NPP лесных экосистем России и СССР (535 пробных площадей) была сформирована в Институте лесоведения РАН [83], но она находилась в личном пользовании составителей.

В 2001–2003 гг. В. А. Усольцевым была опубликована трилогия, включающая базу данных из 5 085 определений фракционного состава фитомассы насаждений, а также некоторые приложения по оценке чистой первичной продукции (NPP) [22, 23].

Расчеты биологической продуктивности и углеродного баланса лесов стран СНГ и Российской Федерации начали проводить в начале 1990-х гг. Основанные на литературных источниках оценки запаса и годового прироста углерода для наглядности сведены в 2 таблицы (табл. 5 и 6).

Обзор результатов хронологически следует начать с работы Т. П. Кольчугиной с соавт. [84], так как международная конференция, на которой были доложены основные результаты, состоялась в мае 1992 г. в Финляндии. Авторы на основе базы данных Н. И. Базилевич оценивают запас углерода в фитомассе, мортмассе и подстилке в лесах СССР в размере 80 900 Мт С и в почве – 319 100 Мт С; чистая первичная продукция (NPP) составляет 5 600 Мт С/год, а чистый прирост экосистем (NEP) – 825 Мт С/год. В качестве исходных материалов авторы использовали данные пробных площадей. Однако эти данные несколько завышены, так как пробные площади закладывают непроизвольно (или сознательно) в более сомкнутых, высокополнотных насаждениях. Поэтому, мы полагаем, что оценки запасов и прироста углерода, полученные авторами таким способом, были существенно завышены.

Т. S. Vinson et al. [85] в том же сборнике докладов оценивают запас углерода в лесных биомах СССР в размере $110\,300 \pm 17\,200$ Мт С, а чистую первичную продукцию (NPP) – $4\,400 \pm 1\,500$ Мт С. В редакционной статье сборника (ed. M. Kanninen) чистый прирост углерода в лесах СССР оценивался в размере 473 Мт С/год.

А. С. Исаев и соавт. [20, 86] из ЦЭПЛ РАН оценили общий запас углерода в фитомассе на лесопокрытых землях России в размере 35 615,3

Таблица 5. Свод оценочных данных по запасу углерода в лесах Российской Федерации

Источник данных / авторы	Объект оценок / пулы	Запас углерода, Мт С
Kolchugina et al, 1992/1993 (по данным Н.И. Базилевич)	Леса СССР: фитомасса мортмасса подстилка	50 403 18 274 12 200
Vinson et al, 1993 (по данным Н.И. Базилевич)	Лесные биомы СССР	110 300
Исаев и др., 1993	Леса России	41 200
Алексеев, Бердси -ред., 1994	Леса России	47 086
Krankina, Dixon, 1994	Леса СССР	47 100
Исаев и др., 1995 (расчеты по данным ГУЛФ 1993 г.)	Леса России: фитомасса мортмасса	38 632 н/д
Виноградов и др., 1996 (по коэфф. Алексеева, Бердси, 1994)	Леса России по данным ГУЛФ 1993	48 000
Швиденко и др., 1997 (моделирование)	Покрытая лесом площадь России	30 695
Yu. A. Izrael – edit., 1997 (моделирование)	Лесные экосистемы	42 000-57 000
ВНИИЦлесресурс, отчет по теме (1997) (покрытые лесом земли гослесфонда)	Леса гослесфонда: фитомасса мортмасса почва (1 м)	22 590 15 335 162 000
Моисеев, 1999	Лесные земли России: фитомасса и мортмасса	47 000
Уткин и др., 2001	Покрытая лесом площадь России	33 472
Nilsson et al., 2000	Леса России: фитомасса	38 000
Моисеев, 2011	Лесные земли России: фитомасса и мортмасса	49 400±9 000
Швиденко, Щепашенко, 2014	фитомасса	37 472
	мортмасса	10 295
	лесная подстилка	8 323
	почва (1 м)	136 210
Росгидромет (Национальный доклад о кадастре, 2015)	Управляемые леса России: биомасса древостоя мертвая древесина подстилка ОВ почвы (0,3 м)	26 291 5 236 4 820 59 918
FRA-2015 FAO UN	Леса России: фитомасса мортмасса почва	33 000 17 000 80 000
ВНИИЛМ (Госдоклад, 2015)	Фитомасса и мортмасса Лесная почва (0,3 м)	49 500±7 500 81 400±29 800

Мт С. По их расчетам, ежегодный прирост углерода составляет 243 Мт С. Однако авторы сделали очень важную методическую ошибку, которая существенно снижает значимость полученных

результатов. Они оценивали не общий прирост запаса, включающий прирост мортмассы, а только чистый прирост живой фитомассы. Так, на стр. 62 авторы пишут «Ежегодное депонирова-

**Таблица 6. Свод оценочных данных по годичному депонированию углерода
в лесах Российской Федерации**

Источники данных/автор	Годы оценки	Баланс углерода, млн т С/год
Kolchugina et al, 1993 (доклад в1992 г.)	1980-1990	825
Исаев и др., 1993	1980-1990	212
Dixon and Krankina, 1993	1980-1990	100-600
Kolchugina, Vinson, 1995	1980-1990	660
Исаев и др., 1995	1993	262
Shvidenko et al, 1995	1966-1983 1984-1993	236 ≈ 0
Виноградов и др., 1996 (баланс газообмена)	1993	600
Швиденко и др., 1997	1993	370
ВНИИЦлесресурс, 1997 (отчет по теме)	1988-1993	500-600
Росгидромет – управляемые леса (Final sinthesis report, 1997)	1990-1995	-50... +155
Filipchuk, Moiseev, 2003	1990-2000	500-600
Shvidenko, Nilsson, 2003	1961-1998	322
Росгидромет – управляемые леса ЗИЗЛХ (4-е Национальное сообщение РФ..., 2006)	1900-2004	-28 -177
Моисеев, Филипчук, 2009	1990-2008	500-600
Ciais et al, 2010	2000-2004	600-700
Pan et al., 2011 (моделирование)	2000-2007	510±99
Dolman et al, 2012: – инверсионные модели – метод вихревых пульсаций	1988-2008	690±246 760-1097
Прогноз развития лесного сектора РФ до 2030 г.	1990-2010	505-611
Моисеев, Филипчук, 2012	1990-2010	500-650
Росгидромет – управляемые леса ЗИЗЛХ (6-е Национальное сообщение РФ...,2013)	1990-2011	60-80
Замолодчиков и др., 2013 (управляемые леса)	1988-2010	80-200
Швиденко, Щепашенко, 2014	2007-2009	546±120
ВНИИЛМ (Госдоклад, 2015)	1988-2014	530-595

ние углерода древесной и кустарниковой растительностью находили через изменение запаса фитомассы по разности между ее текущим приростом и отпадом». Однако известно, что ежегодное депонирование (чистый прирост) растительного вещества экосистемы (NEP) есть разница между чистой первичной продукцией (NPP) и гетеротрофным дыханием ($NEP = NPP - Rh$), а не отпадом (Fall).

О. N. Krankina, R. K. Dixon [87] рассчитали, что в российских лесах в фитомассе (живые растения) содержится 47 100 Мт С, в лесной подстилке – 26 000 Мт С, а в лесной почве – 106 100 Мт С.

В. А. Алексеев, Р. А. Бердси и соавт. [88] очень подробно приводят методику исследований и впервые приводят конверсионные коэффициенты, опирающиеся на данные по учету земель лес-

ного фонда в 1988 г., собственные исследования и литературные источники. По расчетам авторов, суммарный запас фитомассы и мортмассы на лесопокрытой территории России (без почв) составляет 89 000 Мт, или 44 475,1 Мт С. К сожалению, авторы так и не завершили вторую часть работы, в которой должна быть приведена оценка ежегодного прироста углерода. Если принять средний возраст древостоев по России равным 80 годам, то средний годичный прирост запаса углерода должен составить не менее 550 Мт С/год.

В работе Ю. А. Израэля и соавт. [89] общий запас углерода во всех лесных резервуарах России оценивается в 200 000–300 000 Мт С. На гумус лесных почв приходится около 2/3 общего запаса углерода. Фитомасса оценивается с большой неопределенностью – от 25 000 до 40 000 Мт

С, а мортмасса – примерно 17 Мт С. С меньшей неопределенностью оценивают авторы баланс углерода в ежегодном приросте фитомассы. Так, суммарный ежегодный вклад углерода в лесах России оценивается в 4 939 Мт С/год, а его расход – в 4 784 Мт С/год. Таким образом, чистый ежегодный прирост составляет 155 Мт С/год, в том числе 144 Мт С/год – в приросте древесной массы. Полученная разница (3 %) явно лежит в пределах ошибки расчетов общего прироста фитомассы, которая составляет $\pm 10\text{--}20\%$.

В. Г. Виноградов и соавт. [90] оценили запас углерода в живой и мертвой фитомассе по данным ГУЛФ–1993 в размере 48 000 Мт С. На основе данных по газообмену рассчитали среднегодовое депонирование углерода на уровне около 600 Мт С/год. Эта оценка более чем в 2 раза превышает результаты расчетов группы ЦЭПЛ РАН.

А. З. Швиденко, С. В. Веневский, С. Нильсон [91, 92] в конце XX в. оценивали ежегодное накопление углерода на покрытых лесной растительностью землях России приблизительно в 370 Мт С, в том числе в древесине стволов – 240 Мт С.

Авторы отметили, что от этой величины следует отнять эмиссию углерода в атмосферу вследствие нарушений, разрушающих древостой. По-видимому, имелись в виду пожары и рубки. Авторы оценили ежегодный прирост древесины на покрытых лесной растительностью землях России в 906 млн м³, тогда как естественный отпад стволовой древесины у них составил 845 млн м³, или 93 % прироста. Это противоречит всем известным таблицам хода роста, по которым естественный отпад у лиственницы и ели (преобладающих на землях лесного фонда породах) в возрасте 80–120 лет составляет только 40–60 % общего прироста древесины [91, 92]. Общее содержание углерода в растительности лесов России авторы оценили в размере 30 694,6 Мт С.

Современные работы группы Международного института прикладного системного анализа, возглавляемой А. З. Швиденко [11], выполнены с использованием системы оценки, получившей название «Интегральная земельная информационная система» (ИЗИС). Запасы фитомассы и чистой первичной продукции в ИЗИС оценива-

ются по совокупности моделей и различных процедур. Для фитомассы лесов использован конверсионный подход, чистая первичная продукция по различным фракциям фитомассы оценивается как функция от фитомассы с привлечением сведений из таблиц хода роста. Общая оценка стока углерода в лесные экосистемы России составляет 560 ± 117 Тг С год⁻¹. Авторы использовали данные по текущему приросту древесины, который получили путем моделирования по таблицам хода роста. Запас углерода живой фитомассы определен в размере 37,5 млрд т С, мортмассы – 18,6 млрд т С и почв – 136,2 млрд т С.

В работе Pan et al. [93] сток углерода в леса России определен путем оценки изменения запаса, составившего в 2000–2007 гг. 463 ± 83 г С м⁻² год⁻¹. В этой работе использовано определение леса, принятое ФАО, т. е. минимальная сомкнутость полога составляла 0,1 и временно не покрытые лесной растительностью площади рассматривались как лес. При пересчете на лесопокрываемые земли по российскому определению леса значение чистой продукции углерода за этот же период составило 510 ± 99 Тг С год⁻¹.

Ciais et al. [94] применили 4 инверсионные схемы для территории России и получили результаты в $600\text{--}700$ Тг С-СО₂ год⁻¹ для 2000–2004 гг.

Dolman et al. [95] представили результаты, полученные по 12 инверсным моделям для территории России. Среднее значение для различных периодов за 1988–2008 гг. составило 690 ± 246 Тг С год⁻¹ (\pm стандартное отклонение межгодовой изменчивости стока по моделям). За 10 лет (1998–2008) средний СО₂ поток составил 653 ± 129 Тг С год⁻¹. Межгодовая изменчивость в пределах отдельных моделей составляет 200–250 Тг С год⁻¹. Сходные результаты приводятся и в цитированных выше работах с участием А. З. Швиденко.

Выводы

Результаты проведенного анализа дают основание считать, что официальные данные Национального кадастра парниковых газов Росгид-

ромета занижают оценки прироста (абсорбции, поглощения) углерода лесами Российской Федерации. Основные причины заключаются в следующем:

1) Метод «по разности запасов» в последовательных возрастных группах, используемый в модели РОБУЛ и Национальных докладах Росгидромета, не пригоден для расчетов по обобщенным и частично устаревшим статистическим данным ГЛР, так как ошибка оценки запаса ($\pm 10\text{--}15\%$) значительно превышает величину годового прироста ($1\text{--}2\%$ запаса). С точки зрения математической статистики результаты таких расчетов являются недостоверными.

2) Абсорбция углерода лесами в наиболее старшей возрастной группе (перестойные) в национальных докладах о кадастре (2013, 2015) была принята равной нулю. Однако, по данным ГЛР, площадь перестойных древостоев в лесах Российской Федерации составляет более 150 млн га, а прирост оценивается примерно в 80 млн м³ древесины в год.

3) Дискуссионный вопрос – принятие Росгидрометом методологического подхода расчетов по площади «управляемых» лесов. Все леса Российской Федерации (включая резервные и кустарниковые заросли) приведены в известность, имеют необходимые материалы лесного планирования и охраняются от пожаров. Из расчетов было исключено более 200 млн га резервных лесов и 74,9 млн га кустарниковых зарослей, из которых 38,6 млн га – ценные насаждения кедрового стланика.

4) При расчетах нетто-стока CO₂ (баланса углерода) происходит двойной учет потерь древесины. В ГЛР уже были внесены поправки, учитывающие основные потери древесины в результате сплошных рубок и суммарный запас погибших по разным причинам древостоев (данные ОИП и формы ГЛР) в объеме примерно 200 млн м³/год.

По нашим экспертным оценкам, в Национальных докладах о кадастре (2011, 2015) Росгидромета углеродный баланс занижен приблизительно на 350 млн т С/год.

Список использованной литературы

1. Парниковые газы – глобальный экологический ресурс : справоч. пособ. / под ред. А. О. Кокорина. – М. : ВВФ, 2004. – 135 с.
2. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. – М. : МГЭИК; ВМО, 2003. – 330 с.
3. Дополнительные методы и руководящие указания по эффективной практике, вытекающие из Киотского протокола / Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. – М. : МГЭИК, ВМО, 2003. – 137 с.
4. Коротков, В. Н. Особенности учета выбросов и стоков парниковых газов при облесении, обезлесивании и лесоуправлении в рамках отчетности по Киотскому протоколу / В. Н. Коротков, А. А. Романовская // Тр. СПБНИИЛХ. – 2013. – № 2. – С. 12–15.
5. Моисеев, Б. Н. Методика МГЭИК для расчета годичного депонирования углерода и оценка ее применения для лесов России / Б. Н. Моисеев, А. Н. Филипчук // Лесн. хоз-во. – 2009. – № 4. – С. 11–13.
6. Моисеев, Б. Н. Оценка годичного депонирования углерода по запасу древесины в лесах России / Б. Н. Моисеев // Лесн. хоз-во. – 2011. – № 1. – С. 16–18.
7. Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов. Утверждены и введены в действие приказом Рослесхоза от 10.11.2011 № 472. – 129 с.
8. Методика оценки общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь. Утверждена и введена в действие приказом Минлесхоза Республики Беларусь от 28.03.2011 № 81 / Л. Н. Рожков [и др.]. – Минск : БГТУ, ЛРУП «Белгослес», 2011. – 19 с.
9. Моисеев, Б. Н. Критический анализ расчетов годичного депонирования углерода в лесах России / Б. Н. Моисеев // Экономические проблемы энергетического комплекса. Возможная стратегия России по сокращению накопления CO₂ в атмосфере : открытый семинар. – М., 2008. – С. 75–83.
10. Шепашенко, Д. Г. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов северо-востока России / Д. Г. Шепашенко, А. З. Швиденко, В. С. Шалаев. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 296 с.
11. Швиденко, А. З. Углеродный бюджет лесов России / А. З. Швиденко, Д. Г. Шепашенко // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 69–92.
12. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990–2050 гг.: ретроспективная оценка и прогноз / Д. Г. Замолдчиков, В. И. Грабовский, Г. Н. Коровин [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 10. – С. 73–94.
13. Замолдчиков, Д. Управление балансом углерода лесов России: прошлое, настоящее и будущее / Д. Замолдчиков, В. Грабовский, В. Курц // Устойчивое лесопользование. – 2014. – № 2(39). – С. 23–31.
14. Моисеев, Б. Н. Баланс органического углерода в лесах и растительном покрове России / Б. Н. Моисеев // Лесн. хоз-во. – 2007. – № 2. – С. 13–16.
15. Федоров, Б. Г. Поглощающая способность лесов России и выбросы углекислого газа энергетическими объектами / Б. Г. Федоров, Б. Н. Моисеев, Ю. В. Синяк // Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 3. – С. 127–142.
16. Моисеев, Б. Н. Оценка потоков и баланс органического углерода в основных биомассах России / Б. Н. Моисеев, И. О. Алябина // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2004. – № 1. – С. 61–69.
17. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В. Н. Кудеяров, С. А. Заварзин, С. А. Благодатский [и др.]. – М. : Наука, 2007. – 315 с.
18. Текущий прирост лесов России: базовая оценка на начало 3-го тысячелетия / А. Швиденко, Д. Шепашенко, С. Нильссон // Лесная таксация и лесоустройство. – 2008. – №1(39). – С. 83–100.

19. Лесная таксация : учеб. / В. В. Заварзин, С. Б. Пальчиков, А. Н. Уткин, А. Н. Филипчук; под общ. ред. А. Н. Филипчука. – М. : МГУЛ, 2009. – 161 с.
20. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России / А. С. Исаев, Г. Н. Коровин, В. И. Сухих, С. П. Титов, А. И. Уткин, А. А. Голуб, Д. Г. Замолодчиков, А. А. Пряжников. – М. : Центр экологической политики, 1995. – 156 с.
21. Биологическая продуктивность лесных культур на бореальном экотоне / В. А. Усольцев, Г. Г. Терехов, Н. С. Ненашев [и др.]. // Хвойные бореальной зоны: теоретический и научно-практический журнал. – Т. XXIV. – 2007. – № 1. – С. 42–54.
22. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии / В. А. Усольцев. – Екатеринбург : УРО РАН, 2007. – 637 с.
23. Усольцев, В. А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии / В. А. Усольцев. – Екатеринбург : УРО РАН, 2010. – 570 с.
24. Воронов, М. П. Исследование методов и разработка информационной системы определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде Natural : изд. 2-е испр. и доп. / М. П. Воронов, В. А. Усольцев, В. П. Часовских. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. – 192 с.
25. Швиденко, А. З. Материалы к познанию современной продуктивности лесных экосистем России / А. З. Швиденко, Д. Г. Шепашенко, С. Нильссон // Базовые проблемы перехода к устойчивому лесному хозяйству в России : матер. междунар. семина. 6-7 декабря 2007.- Красноярск : ИЛ СО РАН, 2007. – С. 7–37.
26. Коровин, Г. Н. Проблемы реализации Киотского протокола в российском лесном секторе : докл. / Г. Н. Коровин // Роль механизмов Киотского протокола в развитии лесо- и землепользования в России. – М., 2005. – 17 с.
27. Full Carbon Account for Russia (Revised 18 December 2000). / S. Nilsson, A. Shvidenko, V. Stolbovoi, M. Gluck, M. Jonas and M. Obersteiner). – IIASA Interim Report, August 2000.
28. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell [et al.]. – United Kingdom and New York : Cambridge University Press, USA, 1996. – 572 p.
29. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R. T. Watson, M. C. Zinyowera, and R. H. Moss (eds.). – United Kingdom and New York : Cambridge University Press, USA, 1996. – 880 p.
30. Climate Change and Land Resources of Russia / A. S. Isaev, V. S. Stolbovoi, V. M. Kotlyakov, S. Nilsson, I. McCallum. – IIASA 2004.
31. Carbon storage in forests and peatlands of Russia. Gen. Tech. Rep. NE-244 / V. A. Alexeyev, R. A. Birdsey [et al.]. – Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 1998. – 137 p.
32. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests / A. Isaev, G. Korovin, D. Zamolodchikov [et al.] // Boreal forest and global change. Water, air and soil pollution. – 82. – 1995. – P. 247–256.
33. Национальный доклад РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2010 гг. – Ч. 1. – М., 2012. – 386 с.
34. Национальный доклад РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2011 гг. – Ч. 1. – М., 2013. – 421 с.
35. Замолодчиков, Д. Г. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу основных лесобразующих пород России / Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин, О. А. Честных // Лесная таксация и лесоустройство. – 2003. – Вып. 1 (32). – С. 119–127.
36. Оценка и прогноз углеродного бюджета лесов Вологодской области по канадской модели CBM-CFS / Д. Г. Замолодчиков, В. И. Грабовский, Г. Н. Коровин, В. А. Курц // Лесоведение. – 2008. – № 6. – С. 3–14.

37. Замолодчиков, Д. Г. Влияние объемов лесопользования на углеродный баланс лесов России: прогнозный анализ по модели CBM-CFS3 / Д. Г. Замолодчиков, В. И. Грабовский, В. А. Курц // Тр. СПбНИИЛХ. – 2014. – № 1. – С. 5–18.
38. Операционная модель учета углерода Канадского лесного сектора CBM-CFS3 версия 1.0: Руководство пользователя [пер. с англ.] / S. J. Kull, W.A. Kurz, G. J. Rampley, G. E. Banfield, R. K. Schivatcheva, M. J. Apps. – Northern Forestry Centre, 2010. – 112 с.
39. The Effects of Forest Management on Carbon Storage in Ontario's Forests: Climate Change Research Report. CCRR-03 / S. J. Colombo, W. C. Parker, N. Luckai, Q. Dang, T. Cai. – CFS, 2005. – 123 p.
40. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics 1990 to 2008 / G. Stinson, W. A. Kurz, C. E. Smith [et al.] // *Global Change Biology*. – Vol.17. – 2011. – № 6. – P. 2227 – 2244. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x
41. Simulated soil organic matter dynamics in forests of the Leningrad administrative area / O. G. Chertov, A. S. Komarov, S. S. Bykhovets, K. I. Kobak // *Forest Ecology and Management*. – 2002. – V. 169. – P. 29–44.
42. CMS-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards / W. A. Kurz, C. C. Dymond, T. M. White, G. Stinson, C. H. Shaw, G. J. Rampley, C. Smith, B. N. Simpson, E. T. Nielson, J. A. Trofimow, J. Metsaranta, M. J. Apps // *Ecological Modelling* 220, 2009. – P. 480–504. doi:10.111016\j.ecolmodel-el.2008.10.018
43. Model-based, Volume to Biomass Conversion for Forested and Vegetated Land in Canada / Boudewyn P., Song X., Magnussen S., Gillis M.D. – Victoria, Canada : Canadian Forest Service. Inf. Rep. BC-X-411, 2007.
44. Reconciling carbon-cycle concepts, terminology and methods / Chapin F.S., Woodwell G.M., Randerson J.T., Rastetter, E.B., Lovett G.M., Baldocchi D.D., Clark D.A., Harmon M.E., Schimel D.S., Valentini R., Wirth C., Alber J.D., Cole J.J., Goulden M.L., Harden J.W., Heimann M., Howarth R.W., Matson P.A., Mcguire A.D., Melilo J.M., Mooney H.A., Neff J.C., Houghton R.A., Pace M.L., Rayan M.G., Running S.W., Sala O.E., Schlesinger W.H., Schulze E.D., // *Ecosystems*.- № 9. – 2006. – P.1041–1050.
45. Тенденции возможных изменений растительности на Европейской территории России и Западной Сибири / С. М. Малхазова, А. А. Минин, Н. Б. Леонова [и др.] // *Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири*. – М. : МАКС Пресс, 2011. – С. 342–376.
46. Запасы и потоки углерода в лесном и земельном фондах России: инвентаризация и потенциал смягчения последствий климатических изменений / Б. Сонген, К. Андраско, М. Гитарский, Г. Коровин, Л. Лестадиус, Б. Мюррей, А. Уткин, Д. Замолодчиков. – М. : World Resource Institute, 2005. – 61 с.
47. Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России / Д. Г. Замолодчиков, Г. Н. Коровин, А. И. Уткин, О. В. Честных, Б. Сонген. – М. : КМК, 2005.
48. Semi-empirical models for assessing biological productivity of Northern Eurasian forests / A. Shvidenko, D. Schepschenko, S. Nilsson, and Y. Bouloui // *Ecological Modelling*. – Vol. 204. – 2007. – No. 1-2. – P. 163–179.
49. EFIMOD2 – a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems / A. S. Komarov, O. G. Chertov, S. L. Zudin [et al.] // *Ecological Modelling*. – V.170. – 2003. – № 2-3. – P. 373–392.
50. The Effects of Forest Management on Carbon Storage in Ontario's Forests: Climate Change Research Report. CCRR-03 / S. J. Colombo, W. C. Parker, N. Luckai, Q. Dang, T. Cai. – CFS, 2005. – 123 p.
51. Modeling carbon and nitrogen dynamics in forest ecosystems of Central Russia under different climate change scenarios and forest management regimes / V. N. Shanin, A. S. Komarov, A. V. Mikhailov, S. S. Bykhovets // *Ecological Modeling*. – 2011. – V.222. – P. 22162-2275. doi:10.1016 j.ecolmodel.2010.11.009.
52. Шанин, В. Н. Имитационное моделирование динамики лесных экосистем при различных лесохозяйственных и климатических сценариях : автореф. дисс. ... канд. биол. наук / В. Н. Шанин. – Сыктывкар : Ин-т биологии КомиНЦ УрО РАН, 2011. – 18 с.
53. FORCARB2. An Updated version of U.S. Forest Carbon Budget Model. General Technical Report. NRS-67

[Электронный ресурс]. / L. Heath, M. Nichols, J. Smith, J. Mills. – USDA Forest Service : Northern Research Station – 2010. – 52 p. Режим доступа: <http://nrs.fs.fed.us/pubs/35613>.

54. Чумаченко, С. И. Моделирование развития насаждений в ходе аутогенных сукцессий / С. И. Чумаченко, О. В. Смирнова // Лесоведение. – 2009. – № 6. – С. 3-17.

55. Чумаченко, С. И. Прогноз динамики таксационных показателей лесных насаждений при разных сценариях ведения лесного хозяйства: модель динамики лесных насаждений FORRUS-S / С. И. Чумаченко, М. М. Паленова, В. Н. Коротков // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. – Вып. 314. – М. : МГУЛ, 2001. – С. 128–146.

56. Усольцев, В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии / В. А. Усольцев. – Екатеринбург : УРО РАН, 2002. – 761 с.

57. Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М. : Мир, 1975. – 740 с.

58. Уткин, А. И. Биологическая продуктивность лесов: Методы изучения и результаты / А. И. Уткин // Лесоведение и лесоводство: Итоги науки и техники. – М. : ВИНТИ, 1975. – Т. 1. – С. 9–189.

59. Влияние растительных пожаров в России 1998-2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепашенко, Е. А. Ваганов и др. // Доклады Российской академии наук. – 2011.

60. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Publ.: Cambridge University Press (1st edition – March 24, 2014). – 2014. – 1552 p.

61. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загреев, В. И. Сухих, А. З. Швиденко, Н. Н. Гусев, А. Г. Мошкалев. – М. : Колос, 1992. – 495 с.

62. Курганова, И. Н. Возможен ли значительный положительный дисбаланс круговорота углерода (сток) на территории России? / И. Н. Курганова, В. Н. Кудеяров // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. – Т. 6. – 2015. – № 1 (11).

63. Таргульян, В. О. Развитие почв во времени / В. О. Таргульян // Проблемы почвоведения. – М. : Наука, 1982. – С. 108–113.

64. Estimating the carbon balance of central Siberia using a landscapeecosystem approach, atmospheric inversion and Dynamic Global Vegetation Models / Quegan S., Beer C., Shvidenko A., McCallum I., Handoh I.??C. [et al.] // Global Change Biology. – 2011. – Vol. 17. – P. 351-365.

65. Перспективы развития лесостроительства на современном этапе / В. А. Соколов, О. П. Втюрина, Н. В. Соколова [и др.] // Государственный лесной реестр, государственная инвентаризация лесов и лесостроительство : мат-лы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 29.11-1.12.2012 г. М. : ФГУП «Рослесинфорг», 2013. – С. 72–75.

66. Замолодчиков, Д. Г. Инвентаризация бюджета углерода в лесном хозяйстве России / Д. Г. Замолодчиков, В. И. Грабовский, П. П. Шуляк // Инвентаризация бюджета углерода в лесном хозяйстве России // Тр. СПбНИИЛХ. – 2013. – № 3. – С. 23-32.

67. Ведрова, Э. Ф. Биогенные потоки углерода в бореальных лесах Центральной Сибири / Э. Ф. Ведрова // Изв. РАН. – Сер. биол. – 2011. – № 1. – С. 77–89.

68. Карта запасов углерода в почвах России / Щепашенко [и др.] – 2013.

69. Multi-year circumpolar assessment the area burnt / Bartalev S. A., Egorov V. A., Loupian E. A., Uvarov I. A. – 2007. – Vol. 28. – № 6. – P. 1397–1404.

70. Воздействия изменений климата на природные системы суши / Швиденко А. С., Щепашенко, Ваганов А., Сухинин А. [и др.] // Доклады Академии наук. – Т. 441. – № 4. – С. 544–548.

71. Родин, Л. Е. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / Л. Е. Родин, Н. И. Базилевич. – М.-Л. : Наука, 1965. – 253 с.

72. Базилевич, Н. И. Картограммы продуктивности и биологического круговорота главнейших типов растительности суши / Н. И. Базилевич, Л. Е. Родин // Изв. ВГО. – Т. 99. – 1967. – № 3. – С. 190–194.

73. Уткин, А. И. Исследования первичной биологической продуктивности лесов в СССР / А. И. Уткин // Лесоведение. – 1970. – № 3. – С. 58-89.
74. Уткин, А. И. Биологическая продуктивность лесов: Методы изучения и результаты / А. И. Уткин // Лесоведение и лесоводство: Итоги науки и техники. – Т. 1. – М. : ВИНТИ, 1975. – С. 9-189.
75. Уткин, А. И. Об энергетике лесных биогеоценозов / А. И. Уткин // Структурно-функциональная организация биогеоценозов. – М., 1980. – С. 51-69
76. Уткин, А. И. Углеродный цикл и лесоводство / А. И. Уткин // Лесоведение. – 1995. – № 5. – С. 3-20.
77. Поздняков, Л. К. Продуктивность лесов Сибири / Л. К. Поздняков // Ресурсы биосферы: Итоги советских исследований по Международной Биологической Программе. – Вып. 1. – Л. Наука, 1975. – С. 43-55.
78. Поздняков, Л. К. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии / Л. К. Поздняков, В. В. Протопопов, В. М. Горбатенко. – Красноярск : Книжное изд-во, 1969. – 120 с.
79. Молчанов, А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон / А. А. Молчанов. – М. : Наука, 1971. – 275 с.
80. Смирнов, В. В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР / В. В. Смирнов. – М. : Наука, 1971. – 362 с.
81. Ватковский, О. С. Анализ формирования первичной продуктивности лесов / О. С. Ватковский. – М. : Наука, 1976. – 116 с.
82. Базилевич, Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н. И. Базилевич. – М. : Наука, 1993.
83. Леса России как резервуар органического углерода биосферы / А. И. Уткин [и др.] // Лесоведение. – 2001. – № 5. – С. 8-23.
84. Carbon Balance of Forest Biomes (Undisturbed Ecosystems) in the Former Soviet Union / T. P. Kolchugina [et al.] // Carbon Balance of World's Forested Ecosystems: Towards a Global Assessment. – Helsinki, 1994. – P. 52–62.
85. Methodology to Quantify the Carbon Cycle of Forest Biomes in the Former Soviet Union (Equilibrium Analysis) / T. S. Vinson [et al.] // Carbon Balance of World's Forested Ecosystems: Towards a Global Assessment. – Helsinki, 1994. – P. 115–131.
86. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / А. С. Исаев, Г. Н. Коровин, А. И. Уткин, А. А. Пряжников, Д. Г. Замолдчиков // Лесоведение. – 1993. – № 5.
87. Krankina, O. N. Forest Management Options to Conserve and Sequester Terrestrial Carbon in the Russian Federation / O. N. Krankina, R. K. Dixon // World Resource Review. – 1994. – v. 6(1), 88. – 101 p.
88. Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В. А. Алексеева, Р. Бердси. – Красноярск, 1994. – 170 с.
89. Russian Federation climate change country study / Yu. A. Izrael (Edit) // Final synthesis report. – М., 1997.
90. Растительный покров и леса в границах бывшего СССР / В. Г. Виноградов, А. С. Мартынов, Б. Н. Моисеев, В. В. Страхов, А. Н. Филипчук // Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий. – М. : IUCN, 1996. – 144 с.
91. Швиденко А. З. Обобщенная оценка прироста и отпада в лесах России / А. З. Швиденко, С. В. Веневский, С. Нильсон // Устойчивое развитие бореальных лесов. – Тр. МАИБЛ. – М., 1997.
92. Carbon budget of the Russian boreal forests: a systems analysis approach to uncertainty / A. Z. Shvidenko, S. Nilsson, V. A. Rojkov, V. V. Strakhov // Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle. – NATO ASI Series, 1996. – Vol. I. 40.
93. Polychlorinated naphthalenes (PCNs) in riverine and marine sediments of the Laizhou Bay area, North China / X. Pan, J. Tang, Y. Chen, J. Li, G. Zhang. – Environmental Pollution 159 (12):3515-21. – 2011.
94. Regional biospheric carbon fluxes as inferred from atmospheric CO₂ measurements / P. Ciais, P. Peylin, P.

Bousquet // Ecological Applications. – 2000. – Vol. 10. – №. 6. – P. 1574–1589. (Climate Change 2001, 2001. The Scientific Basis).

95. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion method / Dolman A. J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M. K., Belelli Marchesini L., Maximov T. C., Maksyutov S., Schulze E.-D. // Biogeosciences. – 2012. – Vol. 9. – P. 5323–5340. doi:10.5194/bg-9-5323-2012.

References

1. Парниковые газы – глобальный экологический ресурс : справоч. пособ. / под ред. А. О. Кокорина. – М. : VVF, 2004. – 135 с.
2. Рукководыашчие ukazaniya po ehffektivnoj praktike dlya zemlepol'zovaniya, izmenenij v zemlepol'zovanii i lesnogo hozyajstva. Programma MGEHIK po nacional'nym kadastram parnikovyh gazov. – М. : MGEHIK : VMO, 2003. – 330 с.
3. Dopolnitel'nye metody i rukovodyashchie ukazaniya po ehffektivnoj praktike, vytekayushchie ih Kiotskogo protokola / Rukovodyashchie ukazaniya po ehffektivnoj praktike dlya zemlepol'zovaniya, izmenenij v zemlepol'zovanii i lesnogo hozyajstva. Programma MGEHIK po nacional'nym kadastram parnikovyh gazov. – М. : MGEHIK, VMO, 2003. – 137 с.
4. Korotkov, V. N. Osobennosti ucheta vybrosov i stokov parnikovyh gazov pri oblesenii, obezlesivanii i lesoupravlenii v ramkah otchetnosti po Kiotskomu protokolu / V. N. Korotkov, A. A. Romanovskaya // Tr. SPbNIIHL. – 2013. – № 2. – С. 12-15.
5. Moiseev, B. N. Metodika MGEHIK dlya rascheta godichnogo deponirovaniya ugleroda i ocenka ee primeneniya dlya lesov Rossii / B. N. Moiseev, A. N. Filipchuk // Lesn. hoz-vo. -2009. – № 4. – С.11-13.
6. Moiseev, B. N. Ocenka godichnogo deponirovaniya ugleroda po zapasu drevesiny v lesah Rossii / B. N. Moiseev // Lesn. hoz-vo. – 2011. – № 1. – С.16-18.
7. Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu gosudarstvennoj inventarizacii lesov. Utverzhdeny i vvedeny v dejstvie prikazom Rosleskhoza ot 10.11.2011 № 472. – 129 с.
8. Metodika ocenki obshchego i godichnogo deponirovaniya ugleroda lesami Respubliki Belarus'. Utverzhdena i vvedena v dejstvie prikazom Minleskhoza Respubliki Belarus' ot 28.03.2011 № 81 / L. N. Rozhkov [i dr.]. – Minsk : BGTU, LRUP «Belgosles», 2011. – 19 с.
9. Moiseev, B. N. Kriticheskij analiz raschetov godichnogo deponirovaniya ugleroda v lesah Rossii / B. N. Moiseev // EHkonomicheskie problemy ehnergeticheskogo kompleksa. Vozmozhnaya strategiya Rossii po sokrashcheniyu nakopleniya SO2 v atmosfere : otkrytyj seminar. – М., 2008. – С. 75-83.
10. SHepashchenko, D. G. Biologicheskaya produktivnost' i byudzhet ugleroda listvennichnyh lesov severo-vostoka Rossii / D. G. SHepashchenko, A.Z. SHvidenko, V. S. SHalaev. – М. : GOU VPO MGUL, 2008. – 296 с.
11. SHvidenko, A. Z. Uglerodnyj byudzhet lesov Rossii / A. Z. SHvidenko, D. G. SHepashchenko // Sibirskij lesnoj zhurnal. – 2014. – № 1. – С. 69-92.
12. Byudzhet ugleroda upravlyaemyh lesov Rossijskoj Federacii v 1990-2050 gg.: retrospektivnaya ocenka i prognoz / D. G. Zamolodchikov, V. I. Grabovskij, G. N. Korovin [i dr.] // Meteorologiya i gidrologiya. – 2013. – № 10. – С. 73-94.
13. Zamolodchikov, D. Upravlenie balansom ugleroda lesov Rossii: proshloe, nastoyashchee i budushchee / D. Zamolodchikov, V. Grabovskij, V. Kurc // Ustojchivoe lesopol'zovanie. – 2014. – № 2(39). – С. 23-31.
14. Moiseev, B. N. Balans organicheskogo ugleroda v lesah i rastitel'nom pokrove Rossii / B. N. Moiseev // Lesn. hoz-vo. – 2007. – № 2. – С. 13-16.
15. Fedorov, B. G. Pogloshchayushchaya sposobnost' lesov Rossii i vybrosov uglekislogo gaza ehnergeticheskimi ob»ektami / B. G. Fedorov, B. N. Moiseev, YU. V. Sinyak // Problemy prognozirovaniya. – 2011. – № 3. – С. 127-142.

16. Moiseev, B. N. Ocenka potokov i balans organicheskogo ugleroda v osnovnyh biomah Rossii / B. N. Moiseev, I. O. Alyabina // Ispol'zovanie i ohrana prirodnykh resursov v Rossii. – 2004. – № 1. – S. 61-69.
17. Puly i potoki ugleroda v nazemnykh ehkositemah Rossii / V. N. Kudeyarov, S. A. Zavarzin, S. A. Blagodatskij [i dr.]. – M. : Nauka, 2007. – 315 s.
18. Tekushchij prirost lesov Rossii: bazovaya ocenka na nachalo 3-go tysyacheletiya / A. SHvidenko, D. SHCHepashchenko, S. Nil'sson // Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo. – 2008. – №1(39). – S. 83-100.
19. Lesnaya taksaciya : ucheb. / V. V. Zavarzin, S. B. Pal'chikov, A. N. Utkin, A. N. Filipchuk; pod obshch. red. A. N. Filipchuka. – M. : MGUL , 2009. – 161 s.
20. Ehkologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii / A. S. Isaev, G. N. Korovin, V. I. Suhii, S. P. Titov, A. I. Utkin, A. A. Golub, D. G. Zamolodchikov, A. A. Pryazhnikov. – M. : Centr ehkologicheskoy politiki, 1995.- 156 s.
21. Biologicheskaya produktivnost' lesnykh kul'tur na boreal'nom ehkotine / V. A. Usol'cev, G. G. Terekhov, N. S. Nenashev [i dr.]. // Hvojnye boreal'noj zony: teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal. – T. XXIV. – 2007. – № 1.- S.42-54.
22. Usol'cev, V. A. Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoj Evrazii / V. A. Usol'cev. – Ekaterinburg : URO RAN, 2007. – 637 s.
23. Usol'cev, V. A. Fitomassa i pervichnaya produkcija lesov Evrazii / V. A. Usol'cev. – Ekaterinburg : URO RAN, 2010. – 570 s.
24. Voronov, M. P. Issledovanie metodov i razrabotka informacionnoj sistemy opredeleniya i kartirovaniya deponiruемого lesami ugleroda v srede Natural : izd. 2-e ispr. i dop. / M. P. Voronov, V. A. Usol'cev, V. P. CHasovskih. – Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2012. – 192 s.
25. SHvidenko, A. Z. Materialy k poznaniyu sovremennoj produktivnosti lesnykh ehkositem Rossii / A. Z. SHvidenko, D. G. SHepashchenko, S. Nil'sson // Bazovye problemy perekhoda k ustojchivomu lesnomu hozyajstvu v Rossii : mater. mezhdunar. semin. 6-7 dekabrya 2007.- Krasnoyarsk : IL SO RAN, 2007. – S. 7-37.
26. Korovin, G. N. Problemy realizacii Kiotskogo protokola v rossijskom lesnom sektore : dokl. / G. N. Korovin // Rol' mekhanizmov Kiotskogo protokola v razvitii leso- i zemlepol'zovaniya v Rossii. – M., 2005. – 17 s.
27. Full Carbon Account for Russia (Revised 18 December 2000). / S. Nilsson, A. Shvidenko, V. Stolbovoi, M. Gluck, M. Jonas and M. Obersteiner). – IIASA Interim Report, August 2000.
28. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell [et al.]. – United Kingdom and New York : Cambridge University Press, USA, 1996. – 572 p.
29. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R. T. Watson, M. C. Zinyowera, and R. H. Moss (eds.). – United Kingdom and New York : Cambridge University Press, USA, 1996. – 880 p.
30. Climate Change and Land Resources of Russia / A. S. Isaev, V. S. Stolbovoi, V. M. Kotlyakov, S. Nilsson, I. McCallum. – IIASA 2004.
31. Carbon storage in forests and peatlands of Russia. Gen. Tech. Rep. NE-244 / V. A. Alexeyev, R. A. Birdsey [et al.] . – Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 1998. – 137 p.
32. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests / A. Isaev, G. Korovin, D. Zamolodchikov [et al.] // Boreal forest and global change. Water, air and soil pollution. – 82. – 1995. – P. 247-256.
33. Nacional'nyj doklad RF o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov, ne reguliruemyyh Monreal'skim protokolom, za 1990-2010 gg. – CH. 1. – M., 2012.- 386 s.
34. Nacional'nyj doklad RF o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov, ne reguliruemyyh Monreal'skim protokolom, za 1990-2011 gg. – CH. 1. – M., 2013.- 421 s.

35. Zamolodchikov, D. G. Koeffficienty konversii zapasov nasazhdenij v fitomassu osnovnyh lesoobrazuyushchih porod Rossii / D. G. Zamolodchikov, A. I. Utkin, O. A. CHestnyh // Lesnaya taksaciya lesoustrojstvo. – 2003. – Vyp.1(32). – S. 119-127.
36. Ocenka i prognoz uglerodnogo byudzheta lesov Vologodskoj oblasti po kanadskoj modeli CBM-CFS / D. G. Zamolodchikov, V. I. Grabovskij, G. N. Korovin, V. A. Kurc // Lesovedenie. – 2008. – № 6. – S. 3-14.
37. Zamolodchikov, D. G. Vliyanie ob»emov lesopol'zovaniya na uglerodnyj balans lesov Rossii: prognoznyj analiz po modeli CBM-CFS3 / D. G. Zamolodchikov, V. I. Grabovskij, V. A. Kurc // Tr. SPbNILH. – 2014. – № 1. – S. 5-18.
38. Operacionnaya model' ucheta ugleroda Kanadskogo lesnogo sektora CBM-CFS3 versiya 1.0: Rukovodstvo pol'zovatelya [per. s angl.] / S. J. Kull, W.A. Kurz, G. J. Rampley, G. E. Banfield, R. K. Schivatcheva, M. J. Apps. – Northern Forestry Centre, 2010. – 112 s.
39. The Effects of Forest Management on Carbon Storage in Ontario's Forests: Climate Change Research Report. CCRR-03 / S. J. Colombo, W. C. Parker, N. Luckai, Q. Dang, T. Cai. – CFS, 2005. – 123 p.
40. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics 1990 to 2008 / G. Stinson, W. A. Kurz, C. E. Smith [et al.] // Global Change Biology. – Vol.17. – 2011. – № 6. – P. 2227 – 2244. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x
41. Simulated soil organic matter dynamics in forests of the Leningrad administrative area / O. G. Chertov, A. S. Komarov, S. S. Bykhovets, K. I. Kobak // Forest Ecology and Management. – 2002. – V. 169. – P.29-44.
42. CMS-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards / Kurz W.A., Dymond C.C., White T.M., Stinson G., Shaw C.H., Rampley G.J., Smith C., Simpson B.N., Nielson E.T., Trofimow J.A., Metsaranta J., Apps M.J. // Ecological Modelling 220, 2009. – R. 480-504. doi:10.111016\j.ecolmodel.2008.10.018
43. Model-based, Volume to Biomass Conversion for Forested and Vegetated Land in Canada / Boudewyn P., Song X., Magnussen S., Gillis M.D. – Victoria, Canada : Canadian Forest Service. Inf. Rep. BC-X-411, 2007.
44. Reconciling carbon-cycle concepts, terminology and methods / Chapin F.S., Woodwell G.M., Randerson J.T., Rastetter, E.B., Lovett G.M., Baldocchi D.D., Clark D.A., Harmon M.E., Schimel D.S., Valentini R., Wirth C., Alber J.D., Cole J.J., Goulden M.L., Harden J.W., Heimann M., Howarth R.W., Matson P.A., Mcguire A.D., Melilo J.M., Mooney H.A., Neff J.C., Houghton R.A., Pace M.L., Rayan M.G., Running S.W., Sala O.E., Schlesinger W.H., Schulze E.D., // Ecosystems.- № 9. – 2006.- R.1041-1050.
45. Tendencii vozmozhnyh izmenenij rastitel'nosti na Evropejskoj territorii Rossii i Zapadnoj Sibiri / S. M. Malhazova, A. A. Minin, N. B. Leonova [i dr.] // EHkologo-geograficheskie posledstviya global'nogo potepleniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropejskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri. – M. : MAKS Press, 2011. – S. 342-376.
46. Zapasy i potoki ugleroda v lesnom i zemel'nom fondah Rossii: inventarizaciya i potencial smygacheniya posledstvij klimaticheskikh izmenenij / Brent Songen, Kennet Andrasko, Mihail Gitarskij, Georgij Korovin, Lars Lestadius, Brajan Myurrej, Anatolij Utkin, Dmitrij Zamolodchikov. – M. : World Resource Institute, 2005. – 61 s.
47. Uglerod v lesnom fonde i sel'skohozyajstvennyh ugod'yah Rossii / D. G. Zamolodchikov, G. N. Korovin, A. I. Utkin, O. V. CHestnyh, B. Songen. – M. : KMK, 2005
48. Semi-empirical models for assessing biological productivity of Northern Eurasian forests / A. Shvidenko, D. Schepschenko, S. Nilsson, and Y. Boulouli // Ecological Modelling. – Vol. 204. – 2007. – No. 1-2. – R. 163-179.
49. EFIMOD2 – a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems / A. S. Komarov, O. G. Chertov, S. L. Zudin [et al.] // Ecological Modelling. – V.170. – 2003. – № 2-3. – P. 373-392.
50. The Effects of Forest Management on Carbon Storage in Ontario's Forests: Climate Change Research Report. CCRR-03 / S. J. Colombo, W. C. Parker, N. Luckai, Q. Dang, T. Cai. – CFS, 2005. – 123 p.
51. Modeling carbon and nitrogen dynamics in forest ecosystems of Central Russia under different climate change scenarios and forest management regimes / V. N. Shanin, A. S. Komarov, A. V. Mikhailov, S. S. Bykhovets // Ecological Modeling. – 2011. – V.222. – P. 22162-2275. doi:10.1016 j.ecolmodel.2010.11.009.

52. SHanin, V. N. Imitacionnoe modelirovanie dinamiki lesnyh ehkositem pri razlichnyh lesohozyajstvennyh i klimaticheskikh scenariyah : avtoref. diss. ... kand. biol. nauk / V. N. SHanin. – Syktyvkar : In-t biologii KomiNC Uro RAN, 2011. – 18 s.
53. FORCARB2. An Updated version of U.S. Forest Carbon Budget Model. General Technical Report. NRS-67 [EHlektronnyj resurs]. / L. Heath, M. Nichols, J. Smith, J. Mills. – USDA Forest Service : Northern Research Station – 2010. – 52 p. Rezhim dostupa: <http://nrs.fs.fed.us/pubs/35613>.
54. CHumachenko, S. I. Modelirovanie razvitiya nasazhdenij v hode autogennyh sukcesij / S. I. CHumachenko, O. V. Smirnova // Lesovedenie. – 2009. – № 6. – S. 3-17.
55. CHumachenko, S. I. Prognoz dinamiki taksacionnyh pokazatelej lesnyh nasazhdenij pri raznyh scenariyah vedeniya lesnogo hozyajstva: model' dinamiki lesnyh nasazhdenij FORRUS-S / S. I. CHumachenko, M. M. Palenova, V. N. Korotkov // EHkologiya, monitoring i racional'noe prirodopol'zovanie. – Vyp. 314. – M. : MGUL, 2001. – S. 128-146.
56. Usol'cev, V. A. Fitomassa lesov Severnoj Evrazii: normativy i ehlementy geografii / V. A. Usol'cev. – Ekaterinburg : URO RAN, 2002. – 761 s.
57. Odum, YU. Osnovy ehkologii / YU. Odum. – M. : Mir, 1975. – 740 s.
58. Utkin, A. I. Biologicheskaya produktivnost' lesov: Metody izucheniya i rezul'taty // Lesovedenie i lesovodstvo: Itogi nauki i tekhniki. – M. : VINITI, 1975. – T. 1. – S. 9-189.
59. Vliyanie rastitel'nyh pozharov v Rossii 1998-2010 gg. na ehkositemy i global'nyj uglerodnyj byudzhet / A. Z. SHvidenko, D. G. SHCHepashchenko, E. A. Vaganov i dr. // Doklady Rossijskoj akademii nauk. – 2011.
60. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Publ.: Cambridge University Press (1st edition – March 24, 2014). – 2014. – 1552 p.
61. Obshchesoynnye normativy dlya taksacii lesov / V. V. Zagreev, V. I. Suhih, A. Z. SHvidenko, N. N. Gusev, A. G. Moshkalev. – M. : Kolos, 1992. – 495 s.
62. Kurganova, I. N. Vozmozhn li znachitel'nyj polozhitel'nyj disbalans krugovorota ugleroda (stok) na territorii Rossii? / I. N. Kurganova, V.N. Kudyarov // Dinamika okruzhayushchej sredy i global'nye izmeneniya klimata. – T. 6. – 2015. – № 1 (11).
63. Targul'yan, V. O. Razvitie pochv vo vremeni / V. O. Targul'yan // Problemy pochvovedeniya.– M. : Nauka, 1982. – S. 108–113.
64. Estimating the carbon balance of central Siberia using a landscapeecosystem approach, atmospheric inversion and Dynamic Global Vegetation Models / Quegan S., Beer C., Shvidenko A., McCallum I., Handoh I.??C. [et al.] // Global Change Biology. – 2011. – Vol. 17. – R. 351-365.
65. Perspektivy razvitiya lesoustrojstva na sovremennom ehtape / V. A. Sokolov, O. P. Vtyurina, N. V. Sokolova [i dr.] // Gosudarstvennyj lesnoj reestr, gosudarstvennaya inventarizaciya lesov i lesoustrojstvo : mat-ly 3-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Novosibirsk, 29.11-1.12.2012 g. M. : FGUP «Roslesinforg», 2013. – S. 72–75.
66. Zamolodchikov, D. G. Inventarizaciya byudzheta ugleroda v lesnom hozyajstve Rossii / D. G. Zamolodchikov, V. I. Grabovskij, P. P. SHulyak // Inventarizaciya byudzheta ugleroda v lesnom hozyajstve Rossii // Tr. SPbNIILH. – 2013. – № 3. – S. 23-32.
67. Vedrova, EH. F. Biogennye potoki ugleroda v boreal'nyh lesah Central'noj Sibiri / EH. F. Vedrova // Izv. RAN. – Ser. biol. – 2011. – № 1. – S. 77–89.
68. Karta zapasov ugleroda v pochvah Rossii / SHCHepashchenko [i dr.] – 2013.
69. Multi-year circumpolar assessment the area burnt / Bartalev S. A., Egorov V. A., Loupian E. A., Uvarov I. A. – 2007. – Vol. 28. – № 6. – P. 1397–1404.
70. Vozdejstviya izmenenij klimata na prirodnye sistemy sushi / SHvidenko A. C., SHCHepashchenko, Vaganov A., Cuhinin A. [i dr.] // Doklady Akademii nauk. – T. 441. – № 4. – S. 544–548.
71. Rodin, L. E. Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskij krugovorot zol'nyh ehlementov i azota v osnovnyh tipah rastitel'nosti zemnogo shara / L. E. Rodin, N. I. Bazilevich. – M.-L. : Nauka, 1965. – 253 s.

72. Bazilevich, N. I. Kartoskhemy produktivnosti i biologicheskogo krugovorota glavnejshih tipov rastitel'nosti sushy / N. I. Bazilevich, L. E. Rodin // *Izv. VGO*. – Т. 99. – 1967. – № 3. – С. 190–194.
73. Utkin, A. I. Issledovaniya pervichnoj biologicheskoy produktivnosti lesov v SSSR / A. I. Utkin // *Lesovedenie*. – 1970. – № 3. – С. 58–89.
74. Utkin, A. I. Biologicheskaya produktivnost' lesov: Metody izucheniya i rezul'taty / A. I. Utkin // *Lesovedenie i lesovodstvo: Itogi nauki i tekhniki*. – Т. 1. – М.: VINITI, 1975. – С. 9–189.
75. Utkin, A. I. Ob ehnergetike lesnyh biogeocенозов / A. I. Utkin // *Strukturno-funkcional'naya organizaciya biogeocенозов*. – М., 1980. – С. 51–69
76. Utkin, A. I. Uglerodnyj cikl i lesovodstvo / A. I. Utkin // *Lesovedenie*. – 1995. – № 5. – С. 3–20.
77. Pozdnyakov, L. K. Produktivnost' lesov Sibiri / L. K. Pozdnyakov // *Resursy biosfery: Itogi sovetskikh issledovaniy po Mezhdunarodnoj Biologicheskoy Programme*. – Vyp. 1. – М.: Nauka, 1975. – С. 43–55.
78. Pozdnyakov, L. K. Biologicheskaya produktivnost' lesov Srednej Sibiri i YAKutii / L. K. Pozdnyakov, V. V. Protopopov, V. M. Gorbatenko. – Krasnoyarsk : Knizhnoe izd-vo, 1969. – 120 s.
79. Molchanov, A. A. Produktivnost' organicheskoy massy v lesah razlichnyh zon / A. A. Molchanov. – М.: Nauka, 1971. – 275 s.
80. Smirnov, V. V. Organicheskaya massa v nekotoryh lesnyh fitocенозах evropejskoj chasti SSSR / V. V. Smirnov. – М.: Nauka, 1971. – 362 s.
81. Vatkovskij, O. S. Analiz formirovaniya pervichnoj produktivnosti lesov / O. S. Vatkovskij. – М.: Nauka, 1976. – 116 s.
82. Bazilevich, N. I. Biologicheskaya produktivnost' ehkosistem Severnoj Evrazii / N. I. Bazilevich. – М.: Nauka, 1993.
83. Lesa Rossii kak rezervuar organicheskogo ugleroda biosfery / A. I. Utkin [i dr.] // *Lesovedenie*. – 2001. – № 5. – С. 8–23.
84. Carbon Balance of Forest Biomes (Undisturbed Ecosystems) in the Former Soviet Union / T. P. Kolchugina [et al.] // *Carbon Balance of World's Forested Ecosystems: Towards a Global Assessment*. – Helsinki, 1994. – R. 52–62.
85. Methodology to Quantify the Carbon Cycle of Forest Biomes in the Former Soviet Union (Equilibrium Analysis) / T. S. Vinson [et al.] // *Carbon Balance of World's Forested Ecosystems: Towards a Global Assessment*. – Helsinki, 1994. – R. 115–131.
86. Ocenka zapasov i godichnogo deponirovaniya ugleroda v fitomasse lesnyh ehkosistem Rossii / A. S. Isaev, G. N. Korovin, A. I. Utkin, A. A. Pryazhnikov, D. G. Zamolodchikov // *Lesovedenie*. – 1993. – № 5.
87. Krankina, O. N. Forest Management Options to Conserve and Sequester Terrestrial Carbon in the Russian Federation / O. N. Krankina, R. K. Dixon // *World Resource Review*. – 1994. – v. 6(1), 88. – 101 p.
88. Uglerod v ehkosistemah lesov i bolot Rossii / pod red. V. A. Alekseeva, R. Berdsi. – Krasnoyarsk, 1994. – 170 s.
89. Russian Federation climate change country study / Yu. A. Izrael (Edit) // *Final synthesis report*. – М., 1997.
90. Russian Federation climate change country study / Yu. A. Izrael (Edit) // *Final synthesis report*. – М., 1997.
90. Rastitel'nyj pokrov i lesa v granicah byvshego SSSR / V. G. Vinogradov, A. S. Martynov, B. N. Moiseev, V. V. Strahov, A. N. Filipchuk // *Atlas biologicheskogo raznoobraziya lesov Evropejskoj Rossii i sopredel'nyh territorij*. – М.: IUCN, 1996. – 144 s.
91. SHvidenko A. Z. Obobshchennaya ocenka prirosta i otpada v lesah Rossii / A. Z. SHvidenko, S. V. Venevskij, S. Nil'son // *Ustojchivoe razvitie boreal'nyh lesov*. – Tr. MAIBL. – М., 1997.
92. Carbon budget of the Russian boreal forests: a systems analysis approach to uncertainty / A. Z. Shvidenko, S. Nilsson, V. A. Rojko, V. V. Strakhov // *Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle*. – NATO ASI Series, 1996. – vol. 1. 40.
93. Polychlorinated naphthalenes (PCNs) in riverine and marine sediments of the Laizhou Bay area, North China / X. Pan, J. Tang, Y. Chen, J. Li, G. Zhang. – *Environmental Pollution* 159 (12):3515–21. – 2011.

94. Regional biospheric carbon fluxes as inferred from atmospheric CO₂ measurements / P. Ciais, P. Peylin, P. Bousquet // *Ecological Applications*. – 2000. – Vol. 10. – №. 6. – P. 1574–1589. (Climate Change 2001, 2001. The Scientific Basis).

95. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion method / Dolman A. J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchebakova N., Chen T., van der Molen M. K., Beelli Marchesini L., Maximov T. C., Maksyutov S., Schulze E.-D. // *Biogeosciences*. – 2012. – Vol. 9. – P. 5323–5340. doi:10.5194/bg-9-5323-2012.

Analytical overview of methodologies calculating missions and absorption of greenhouse gases by forests from the atmosphere

A. N. Filipchuk – Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Deputy Director, Doctor of Agricultural Sciences, Moscow oblast, Pushkino, Russian Federation

N. V. Malysheva – Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, principal research fellow, Candidate of Geographic Sciences, Moscow oblast, Pushkino, Russian Federation

B. N. Moiseev – Candidate of Agricultural Sciences, Moscow, Russian Federation

V. V. Strakhov – Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, senior research fellow, Doctor of Agricultural Sciences, Moscow oblast, Pushkino, Russian Federation

Keywords: calculation of emissions and absorption of greenhouse gases by forests from the atmosphere, condition and utilization of forest resources, land of State forest fund, forest use, forest regeneration, forest protection, forest monitoring.

The overview presents an analysis of published in the open press research papers and applied methodologies calculating emissions and absorption of greenhouse gases by forest from the atmosphere. The paper describes features of Russian forests, participating in emissions and absorption of greenhouse gases, which is necessary to consider when developing separate sections of an alternative technique of their account. The comparative analysis of the existing greenhouse gases absorption estimates by Russian forests from the atmosphere is also given. The comparative analysis of the existing (published) greenhouse gases absorption accounting methods by vegetation, including forests, from the atmosphere is made. The attempt to prove that only the full accounting of all forests of the country represents rather reliable basis for assessment of carbon balance is made; as it is impossible to estimate responses and feedback of all forest biome, if only some of its part is considered. Methodical approaches for developing a Methodical guide to quantitative assessment of CO₂ absorption in forests of the Russian Federation are proved. Authors of the analytical review claim that official data of the National greenhouse gas inventory of Roshydromet underestimate surplus estimates (absorption) of carbon by forests of the Russian Federation.