

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БАЛАНСА УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ГОДИЧНОГО ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА

Н.В. Малышева, Б.Н. Моисеев, А.Н. Филипчук, Т.А. Золина

ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», 141202, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15

nat-malysheva@yandex.ru

Рассмотрены основанные на моделировании различные методы оценки и прогноза запаса углерода в лесах, которые получили международное признание, в их числе: ИЗИС ИААА (Австрия), EFIMOD + ROMUL (Россия), РОБУЛ (Россия), Информационная система определения и картирования депонирования лесами углерода (Россия, УГЛТУ), СВМ-CFS3 (Лесная служба Канады), FORCARB2 (Лесная служба США). Рассчитана и проиллюстрирована в картографической форме величина годичного депонирования углерода основными типами лесных экосистем зоны хвойно-широколиственных лесов Европейско-Уральской части России. Методика расчета базируется на рекомендациях МГЭИК ООН. В расчетах использованы данные Государственного лесного реестра (ГЛР). По данным ГЛР 2015 г. выполнены расчеты годичного накопления углерода в лесных экосистемах зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов ЕУЧР. Получены следующие значения показателей, характеризующих скорость накопления органического вещества: $NPP = 5,92$; $R_h = 3,96$; $NEP = 1,96$ т С/га · год, а $NBP = 2,02$ т С/га · год. Полученные нами значения годичной продукции и эмиссии углерода согласуются с результатами расчетов для этой территории, сделанными научным коллективом ИААА. Расхождение оценок находится в пределах стандартных ошибок расчетов.

Ключевые слова: депонирование углерода лесами, баланс углерода, лесные экосистемы, имитационное моделирование

Ссылка для цитирования: Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Филипчук А.Н., Золина Т.А. Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчетов годичного депонирования углерода // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 1. С. 4–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-4-13

В глобальном углеродном цикле значительная роль принадлежит лесным экосистемам, что подтверждено многочисленными научными исследованиями последних десятилетий. Длительный жизненный цикл основных лесобразующих пород и замедленный биологический круговорот веществ в экосистемах бореального и умеренного пояса нашей страны способствуют накоплению углерода не только в фитомассе, но и в детрите, гумусе лесных почв и торфе. Благодаря долговременному аккумулярованию запасенного углерода в лесных экосистемах достигается биосферный эффект, связанный с поглощением парниковых газов и противодействием изменениям климатической системы планеты.

Усиление углерододепонирующей способности лесов и адаптация лесов к климатическим изменениям — актуальные проблемы научных и прикладных исследований, однако адаптивный потенциал лесов в региональном аспекте изучен недостаточно. Согласно требованиям международной отчетности, в области землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства расчет депонирования CO_2 лесами предпочтительно осуществлять по стратифицированным (таксономическим) географическим единицам. Объект проведенных нами исследований — экосистемы зоны хвойно-широколиственных (сме-

шанных) лесов Европейско-Уральской части России (ЕУЧР). Лесорастительное районирование соответствует Приказу Минприроды России от 23.12.2014 № 569. Цель исследований — провести анализ методов оценки баланса углерода и опробовать методические рекомендации Межправительственной группы экспертов ООН (МГЭИК ООН) для модельных расчетов годичного депонирования углерода лесными экосистемами объекта исследований.

МГЭИК ООН [1] рекомендует при оценке углеродного бюджета рассматривать пять основных пулов (хранилищ, резервуаров) углерода в лесах: надземную фитомассу лесной растительности, подземную фитомассу лесной растительности; мертвую древесину (дебрис) — сухостой и валеж; лесную подстилку; органическое вещество почвы.

Согласно международным договоренностям [2], в ежегодной национальной отчетности необходимо отражать информацию и оценивать изменения в накоплении углерода во всех пяти пулах. Это обстоятельство не требует обязательного увеличения накопления углерода во всех пулах, поскольку уменьшение запаса углерода в одном пуле может компенсироваться увеличением его в другом. Например, пул надземной фитомассы после низовых пожаров или повреждения насекомыми-вредителями уменьшается, вместе с тем

пул сухостойной и валежной древесины увеличивается. Для предоставления международной отчетности согласно климатическим соглашениям интерес представляют не потоки и миграция углерода в самой экосистеме, а ее взаимодействие с атмосферой, поэтому учитывают не потоки, а величину баланса. Если итоговый баланс по совокупности пулов положительный — идет увеличение стоков и накопление углерода как результат эффективной практики землепользования, изменений в землепользовании и лесном хозяйстве.

Материалы и методы

Для оценки углеродного обмена между экосистемой и атмосферой рассчитывают такие показатели как чистая первичная продукция (ЧПП, английская аббревиатура NPP), чистая экосистемная продукция (ЧЭП, англ. NEP) и чистая биомная продукция (ЧБП, англ. NBP). Количество органического вещества, пополняющего пул фитомассы, оценивается показателем «чистая первичная продукция». Это суммарное годовое депонирование углерода во всех фракциях фитомассы (включая подземные, отпад и опад), подсчитываемое по изменению запасов. Показатель можно определить в полевых условиях с помощью весовых методов и экстраполировать на относительно однородные ареалы расчетным путем. Однако прямой перенос данных пробных площадей на региональный уровень оценки (экорегiona, лесничества или области) может привести к существенным систематическим ошибкам.

В экологии скорость накопления органического вещества в сообществе, или чистая экосистемная продукция, — нетто-продуктивность экосистем — определяется как разность между чистой первичной продукцией и гетеротрофным дыханием (R_h) за вегетационный период или за год [3]. Гетеротрофное дыхание включает суммарное высвобождение углерода в пулах почвы, подстилки и мертвой древесины в процессе разложения. Оценка показателя представляет собой сложную задачу, не решенную до конца в методическом плане.

На локальном уровне, на пробных площадях величину NEP обычно приближенно получают суммированием годовых приростов запасов живой и мертвой фитомассы (без органики почв). Соотношения годовых потоков фитомассы и NEP в лесной экосистеме можно записать следующим образом [1, 4–6]

$$\text{NEP} = \text{NPP} - R_h \approx \text{NPP} - \text{Fall} + \Delta\text{Mort} \approx \Delta\text{Live} + \Delta\text{Mort}, \quad (1)$$

где NEP — чистая экосистемная продукция, или прирост живой и мертвой фитомассы;
NPP — чистая первичная продукция;
 R_h — гетеротрофное дыхание (в климаксе $R_h \approx \text{NPP}$, тогда $\text{NEP} \rightarrow 0$);
Fall — ежегодный естественный отпад и опад фитомассы;
 ΔLive , ΔMort — чистый прирост запаса живой и мертвой фитомассы соответственно.

В расчетах на уровне биома регионального и глобального масштаба необходимо учитывать потери фитомассы в результате внешних воздействий. В этом случае чистая биомная продукция рассчитывается путем вычитания из чистой продукции экосистем потерь (Loss), обусловленных рубками, катастрофическими пожарами и прочими внешними факторами, нарушающими нормальное функционирование экосистем

$$\text{NBP} = \text{NEP} - \text{Loss}. \quad (2)$$

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 на их динамике во времени [7–13]. 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» [14].

Непосредственные измерения потоков CO_2 и углеродного обмена между экосистемой и атмосферой проводят с использованием метода вихревых пульсаций (eddy covariance). Однако оценки углеродного обмена, полученные этим экспериментальным методом, в силу пространственной и параметрической ограниченности измерений невозможно использовать для региональных обобщений [15]. (Для справки: за весь период существования этого метода измерения в лесах России были проверены только на 7 станциях [13]). Из-за некорректности экстраполяции результатов измерений на отдельных участках или пробных площадях на обширные территории и из-за нестабильности потоков углерода во времени оценку запасов и потоков углерода в лесных экосистемах обычно осуществляют с использованием математических моделей.

Имитационное моделирование отклика лесных экосистем на климатические изменения и

Т а б л и ц а

Математические модели и системы оценки и прогноза запасов углерода в лесах
Mathematical models and estimation and prediction systems of evaluating carbon stocks in forests

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. Пушкино, 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. FORest CARBon Budget Model (FORCARB)	Лесная служба США	R. Birdsey

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, перечислены в таблице. В перечне систем оценки приведены только те, что пригодны для изучения углеродного цикла в лесных экосистемах зоны хвойно-широколиственных лесов.

Из перечисленных математических моделей на локальный пространственный уровень — лесных экосистем (типов леса) — ориентировано использование комплекса EFIMOD + ROMUL [16, 17]. Модели EFIMOD разработаны для оценки биологического круговорота углерода и азота в лесных экосистемах бореальной зоны и зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов. Система моделей EFIMOD состоит из четырех составляющих: модели ежегодного прироста биомассы отдельного дерева; индивидуально-ориентированной пространственной модели древостоя, состоящего из отдельных деревьев; модели динамики органического вещества почвы ROMUL [18–21] и генератора климата SCLISS. В качестве входных данных системе моделей EFIMOD необходимы: видовой состав древостоя на лесотаксационном выделе; возраст, средняя высота ствола и диаметр на уровне груди для каждого элемента леса; число деревьев на гектар; характеристики пулов органического вещества почвы. С помощью системы моделей EFIMOD и ROMUL можно воспроизвести различные сце-

нарии лесопользования по изменению баланса углерода на локальном уровне [22–25]. Вместе с тем требование к детальности исходных данных для калибровки (настройки) системы делает ее малоприменимой для обобщенных региональных оценок баланса углерода. Схожа по назначению с вышеупомянутыми и американская модель FORCARB2, которая разработана для подсчета запасов углерода в каждом из углеродных пулов на уровне насаждения с использованием данных инвентаризации, собранных на пробных площадях [26].

Математическая и имитационная модель FORRUS [27, 28] первоначально ориентирована на локальный уровень — лесотаксационный выдел, современная версия предназначена для моделирования 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 лесопользования, но применительно к динамике лесотаксационных показателей — видового состава и продуктивности древостоев при сукцессионных сменах, а не к подсчетам баланса углерода.

Многочисленные научные публикации по проблеме «лес и климат» сосредоточены на оценке воздействия климатических изменений на углеродный баланс и расчетах углеродного бюджета в лесах регионального и национального уровня. При изложении результатов моделирования рассматриваются два аспекта воздействия внешних

факторов на накопление углерода в лесах: эмиссии лесных пожаров и изъятие древесины при ведении лесозаготовок.

Группа ученых Института прикладного системного анализа, широко известная своей публикационной активностью по проблеме изменения климата, нацеливает исследования на расчет полного углеродного бюджета и его динамики вследствие воздействия лесных пожаров, биотических факторов [29, 30], влияния лесозаготовок. Концептуально эти исследования основаны на ландшафтно-экосистемном подходе [13]. Методически расчет полного углеродного бюджета включает оценку потоков углерода в экосистемах с элементами учета изменений запаса. Пространственный масштаб исследований этого научного коллектива — региональный и национальный.

Модель бюджета углерода Канадского лесного сектора (CBM-CFS) начали разрабатывать еще в 1990-х гг. В настоящее время современная версия модели CBM-CFS3 представляет собой программный комплекс, снабженный удобным пользовательским интерфейсом. Это открытое программное обеспечение [31]. Модель широко используется для расчета запасов и баланса углерода по экологическим зонам для всей страны и отдельных провинций Канады [23, 24, 32].

Разработчики указывают на ряд недостатков, присущих модели. Расчеты ориентированы на данные лесной инвентаризации, собранные на пробных площадях. В этом заключается как достоинство, так и недостаток модели [24]. Положительная сторона в том, что используются данные натурных измерений, а недостаток — в том, что сведения продуктивности древостоя в модели CBM-CFS3 получены по эмпирическим данным о приросте запасов из таблиц хода роста, которые включают влияние климата и условий местопроизрастания (бонитета) на рост древостоев, но не отражают текущее состояние климата. Эти методы не учитывают межгодовую изменчивость климата и отклонение от среднелетних климатических условий, которые влияют на данные о росте деревьев, установленные путем измерений на пробных площадях. Если совокупный эффект от повышения плодородия почв из-за осаждения атмосферного азота, увеличения CO_2 и климатических изменений сказался позитивно на производительности управляемых лесов Канады с того времени, когда были составлены таблицы хода роста, то в результате величина чистой первичной продуктивности будет занижена.

Из-за недостатка эмпирических данных по разным экорегионам Канады в модели CBM-CFS3 не учитывается накопление углерода в

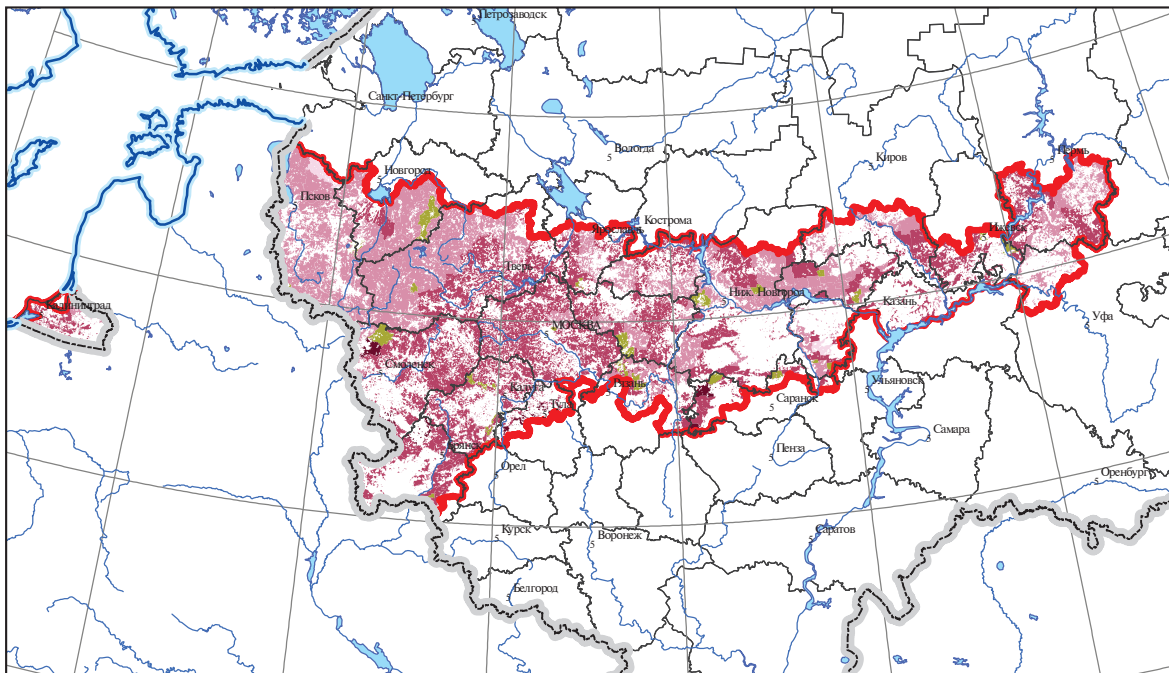
«недревесной растительности», которая включает совокупность подроста, подлеска, лесной подстилки. Исключение из расчетов «недревесной растительности» также влияет на величину потоков мертвого органического вещества и гетеротрофного дыхания, т. е. высвобождения углерода в процессе разложения в пулах почвы, подстилки и мертвой древесины, вместе взятых. Кроме того, модель учитывает только изменения среднегодовой температуры, что справедливо для лесов бореальной зоны [33], но не учитывает изменения уровня осадков и т. д. В целом расчеты по модели занижают запасы углерода в лесах. Как правило, эти присущие модели ограничения при апробации ее для других лесорастительных условий и других стран упускают.

Разработанная лесной службой Канады имитационная модель CBM-CFS3 опробована для прогнозной оценки влияния объемов лесопользования на углеродный бюджет лесов отдельных регионов бореальной зоны и России в целом [34, 35]. Отмечена сходимость полученных результатов по канадской модели с расчетами с помощью системы региональной оценки бюджета углерода лесов — РОБУЛ. [35]. Схожесть результатов позволяет предположить, что и система РОБУЛ занижает оценку запасов углерода. Она используется для расчета углеродного бюджета регионального (субъекты Российской Федерации) и национального уровня, с ее помощью Росгидромет формирует кадастр стоков и источников парниковых газов по лесам. При расчетах расходной части баланса углерода в системе учитываются потери углерода в результате заготовки древесины в лесах и лесных пожаров [36, 37].

Результаты и обсуждение

Для решения практических задач Рамочной конвенции об изменении климата ООН методические руководства, подготовленные МГЭИК, предлагают простые методы оценки годичного накопления углерода в разных пулах. Для расчетов годичного депонирования углерода в лесах предложены два уравнения: по соотношению разности запасов углерода за единицу времени (уравнение (3.2.3), [1]) и по среднему приросту запаса (уравнение (3.2.5), [2]).

В работах [39, 40] приводятся аргументы в пользу того, что уравнение (3.2.3) [1] для расчета годичного депонирования углерода по разности запасов, целесообразно использовать для расчетов, если имеются надежные данные о запасах пулов за определенный период (5–10 лет), полученные на пробных площадях. Это уравнение положено в основу расчетов запаса углерода, которые осуществляются при ведении государс-



Чистая экосистемная продукция (NEP), т С/га · год



Годичное депонирование углерода лесными экосистемами зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов ЕУЧР
Annual carbon sequestration by forest ecosystems in the zone of EUCR coniferous-deciduous (mixed) forests

твенной инвентаризации лесов в России [41]. На пробной площади учету подлежат запас надземной фитомассы, сухостоя и валежа, прирост по диаметру и высоте растущих деревьев и др. Программное обеспечение, используемое в полевых работах, содержит специальную утилиту для расчета запаса углерода, депонированного в надземной и подземной фитомассе, в валеже 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. Разработана методика оценки общего и годового депонирования углерода лесами Республики Беларусь [42–46]. В основу расчетов положен метод подсчета запасов и их временных изменений с применением уравнения (3.2.3) [1].

В работах [4, 39, 40] доказано, что для расчетов годового депонирования углерода на основании данных, внесенных в Государственный лесной реестр (ГЛР), предпочтительно использовать формулу среднего прироста запаса (уравнение (3.2.5), [2])

$$G_w = I_v D BEF_1, \quad (3)$$

где G_w — средний годичный прирост надземной фитомассы, т/га · год;

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

D — плотность древесины, т/м³;

BEF_1 — конверсионный коэффициент для пересчета чистого годичного прироста в прирост надземной фитомассы (безразмерная величина).

Этот способ расчета опробован в научных исследованиях прикладного характера [4, 40] и при подготовке национальной отчетности для Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). Исходя из величины общего среднего прироста запаса и используя вышеприведенную формулу, по данным Государственного лесного реестра за 2014 г. рассчитан показатель NEP по лесничествам, приуроченным к зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов ЕУЧР. На рисунке показано пространственное распределение годового депонирования углерода разными типами лесных экосистем зоны хвойно-широколиственных лесов ЕУЧР. Установлено, что наибольшие удельные значения NEP на единицу площади (1 га) в год приходятся на леса Тульской (Белевское, Тульское, Одоевское лесничества), Смоленской (Демидовское, Шумячское), Брянской (Дубровское) областей и Республики Мордовия (Вышинское и Темниковское лесничества).

Сравнение представленных на карте результатов проведенных расчетов годового депонирования

ния углерода с картографической иллюстрацией и расчетами по субъектам Российской Федерации, приведенными в работах [34–38, 47], подтверждает тезис об имеющихся расхождениях и существенном занижении углеродного баланса.

Группа ученых Международного института прикладного системного анализа в последней из опубликованных к настоящему времени сводных оценок [13, табл. 4, 5] приводит следующие значения годичной продукции и эмиссии углерода, рассчитанные для зоны умеренных лесов ЕУЧР (зона умеренных лесов ЕУЧР, рассматриваемая в [13] корреспондируется с зоной хвойно-широколиственных лесов ЕУЧР в данном исследовании), т С/га · год: средняя NPP = 6,65; гетеротрофное дыхание (гетеротрофное дыхание почв + разложение крупных древесных остатков) $R_h = 3,37$; NBP = 2,11. Расчеты для экосистем хвойно-широколиственных (смешанных) лесов ЕУЧР, выполненные нами в 2015 г., привели к следующим результатам, т С/га·год: NPP = 5,92; $R_h = 3,96$; NEP = 1,96; NBP = 2,02. Как видно, расхождение оценок находится в пределах стандартных ошибок расчетов. Суммарное накопление углерода, по нашим расчетам, составило $56,0 \pm 7,8$ Мт С/год, из них 37,1 % приходится на экосистемы с преобладанием хвойных лесов, 2,4 % — широколиственных, 59,3 % — мелколиственных насаждений и 1,2 % — на земли, не покрытые лесом.

Выводы

Рассмотренные методы оценки депонирования углерода лесами свидетельствуют о том, что, несмотря на сопоставимость расчетов в модельном эксперименте, результаты, полученные разными научными коллективами, значительно расходятся в силу высокой степени неопределенности. Современный уровень научных знаний по проблеме оценки углеродного бюджета лесов России отличает разнообразие методических решений и расчетных моделей, но зачастую и противоречивость результатов, поэтому исследования в этом направлении требуют продолжения.

Список литературы

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
- [4] Моисеев Б.Н. Баланс органического углерода в лесах и растительном покрове России // Лесн. хоз-во, 2007. № 2. С. 3–16.
- [5] Федоров Б.Г., Моисеев Б.Н., Сняк Ю.В. Поглощающая способность лесов России и выбросы углекислого газа энергетическими объектами // Проблемы прогнозирования, 2011. № 3. С. 127–142.
- [6] Федоров Б.Г. Выбросы углекислого газа: углеродный баланс России // Проблемы прогнозирования, 2014. № 1. С. 63–78.
- [7] 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. Замолдчиков, А.А. Пряжников. М.: Центр экологической политики, 1995. 156 с.
- [8] Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии. Екатеринбург: УРО РАН, 2007. 637 с.
- [9] Биологическая продуктивность лесных культур на бореальном экотоне / В.А. Усольцев, Г.Г. Терехов, Н.С. Ненашев, Н.В. Пальмова, М.И. Балицкий, А.С. Касаткин, Д.И. Лысенко, О.В. Канунников, Н.И. Кузьмин // Хвойные бореальной зоны: теоретический и научно-практический журнал, 2007. Т. XXIV. № 1. С. 42–54.
- [10] Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УРО РАН, 2010. 570 с.
- [11] Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Исследование методов и разработка информационной системы определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде Natural. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 192 с.
- [12] Швиденко А.З., Шепашенко Д.Г., Нильссон С. Материалы к познанию современной продуктивности лесных экосистем России // Базовые проблемы перехода к устойчивому лесному хозяйству в России. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2007. С. 7–37.
- [13] Швиденко А.З., Шепашенко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал, 2014. № 1. С. 69–92.
- [14] Коровин Г.Н. Проблемы реализации Киотского протокола в российском лесном секторе // Роль механизмов Киотского протокола в развитии лесо- и землепользования в России. М., 2005. 17 с.
- [15] Швиденко А.З., Шепашенко Д.Г., Ваганов Е.А., Нильссон С. Чистая первичная продукция лесных экосистем России: новая оценка // Доклады Академии наук, 2008. Т. 421. № 6. С. 822–825.
- [16] Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L. EFIMOD2 a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems // Ecological Modelling, v. 170, 2003, № 2–3, pp. 373–392.
- [17] Chertov O., Komarov A., Loukianov A. The use of forest ecosystem model EFIMOD for research and practical implementation at forest stand, local and regional levels // Ecological Modelling, 2006, v. 194, pp. 227–232.
- [18] Chertov O.G., Komarov A.S., Bykhovets S.S., Kobak K.I. Simulated soil organic matter dynamics in forests of the Leningrad administrative area // Forest Ecology and Management, 2002, v. 169, pp. 29–44.
- [19] Shanin V.N., Komarov A.S., Mikhailov A.V., Bykhovets S.S. Modeling carbon and nitrogen dynamics in forest ecosystems of Central Russia under different climate change scenarios and forest management regimes // Ecological Modelling, 2011, v. 222, pp. 22162–2275. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2010.11.009
- [20] Shanin V., Komarov A., Bykhovets S. Modelling the dynamics of forest ecosystems at different levels of nitrogen disposition and climate change. Available at: http://www.nitrogen2011.org/oral_presentations/S17_1_Shanin.pdf
- [21] Шанин В.Н. Имитационное моделирование динамики лесных экосистем при различных лесохозяйственных и

- климатических сценариях: дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар: Ин-т биологии КомиНЦ УрО РАН, 2011. 18 с.
- [22] Stocks B.J., Levine J.S. The extent and impact of forest fires in northern circumpolar countries. *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biosphere Implications*. Cambridge, MA: The MIT Press Inc., 1991, pp. 197–202.
- [23] Colombo S.J., Parker W.C., Luckai N., Dang Q., Cai T. The Effects of Forest Management on Carbon Storage in Ontario's Forests: Climate Change Research Report. CRR-03. CFS, 2005, 123 p.
- [24] Stinson G., Kurz W.A., Smith C.E. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics 1990 to 2008. *Global Change Biology*, 2011, v. 17, № 6, pp. 2227–2244. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x
- [25] Liu S., Bond-Lamberty B., Hicke J.A. Simulation the impacts of disturbances on forest carbon cycling in North America: Processes, data, models and challenges // *Journal of Geophysical Research*. 2011. v. 116. 22 p. doi: 10.1029/2010JG001585
- [26] Heath L., Nichols M., Smith J., Mills J. FORCARB2. An Updated version of U.S. Forest Carbon Budget Model. General Technical Report. NRS-67 USDA Forest Service: Northern Research Station 2010. 52 p. Available at: <http://nrs.fs.fed.us/pubs/35613>
- [27] Чумаченко С.И., Паленова М.М., Коротков В.Н. Прогноз динамики таксационных показателей лесных насаждений при разных сценариях ведения лесного хозяйства: модель динамики лесных насаждений FORRUS-S // *Экология, мониторинг и рациональное природопользование*. МГУЛ, 2001. Вып. 314. С. 128–146.
- [28] Чумаченко С.И., Смирнова О.В. Моделирование развития насаждений в ходе аутогенных сукцессий // *Лесоведение*, 2009. № 6. С. 3–17.
- [29] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Ваганов Е.А. Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // *Доклады Академии наук*, 2011. Т. 441. № 4. С. 544–548.
- [30] Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // *Лесоведение*, 2013. № 5. С. 50–61.
- [31] Operational-Scale Carbon Budget Model off the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3) Version 1.0: / Kull S.J., Kurz W.A., Rampley G.J., Banfield G.E., Schivatcheva R.K., Apps M.J. Northern Forestry Centre, 2006, 320 p.
- [32] Carbon Budget Model. Available at: <http://www.nrcan.gc.ca/forests/climate-change/13107>
- [33] Малхазова С.М., Минин А.А., Леонова Н.Б. Тенденции возможных изменений растительности на Европейской территории России и Западной Сибири // *Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири*. М.: МАКС Пресс, 2011. С. 342–376.
- [34] Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н., Курц В.А. Оценка и прогноз углеродного бюджета лесов Вологодской области по канадской модели CBM-CFS3 // *Лесоведение*, 2008. № 6. С. 3–14.
- [35] Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Курц В.А. Влияние объемов лесопользования на углеродный баланс лесов России: прогнозный анализ по модели CBM-CFS3 // *Тр. СПб НИИЛХ*, 2014. № 1. С. 5–18.
- [36] Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.А. Влияние пожаров и лесозаготовок на углеродный баланс лесов России // *Лесоведение*, 2013. № 5. С. 36–49.
- [37] Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации с 1990–2050 гг.: ретроспективная оценка и прогноз // *Метеорология и гидрология*, 2013. № 10. С. 73–94.
- [38] Замолодчиков Д.Г., Грабовский В., Курц В. Управление балансом углерода лесов России: прошлое, настоящее и будущее // *Устойчивое лесопользование*, 2014. № 2 (39). С. 23–31.
- [39] Моисеев Б.Н., Филипчук А.Н. Методика МГЭИК для расчета годичного депонирования углерода и оценка ее применения для лесов России // *Лесное хозяйство*, 2009. № 4. С. 11–13.
- [40] Моисеев Б.Н. Оценка годичного депонирования углерода по запасу древесины в лесах России // *Лесное хозяйство*, 2011. № 1. С. 16–18.
- [41] Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов. Приказ Рослесхоза от 10.11.2011. № 472 129 с. Available at: http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/199/Metod_rekomendacii.pdf
- [42] Рожков Л.Н. Методика оценки общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь. Минск: БГТУ, ЛРУП «Белгослес», 2011. 19 с.
- [43] Рожков Л.Н. Методические подходы расчета углеродных пулов в лесах Беларуси // *Экология, лесоводство и охотничье хозяйство: Тр. БГТУ. Лесное хозяйство*, 2011. № 1. С. 62–70.
- [44] Шатравко А.В., Рожков Л.Н. Углеродные потоки в лесах Республики Беларусь // *Экология, лесоводство и охотничье хозяйство: Тр. БГТУ. Лесное хозяйство*, 2012. № 1. С. 314–317.
- [45] Рожков Л.Н. Прогноз годичных потоков «стока-эмиссии» углекислого газа лесной экосистемой Беларуси // *Экология, лесоводство и охотничье хозяйство: Тр. БГТУ. Лесное хозяйство*, 2013. № 1. С. 100–102.
- [46] Рожков Л.Н. Устойчивое лесопользование и сокращение выбросов углекислого газа // *Экология, лесоводство и лесохозяйственное хозяйство: Тр. БГТУ. Лесное хозяйство*, 2014. № 1. С. 97–99.
- [47] Замолодчиков Д.Г. Системы оценки прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // *Устойчивое лесопользование*, 2011. № 4 (29). С. 15–22.

Сведения об авторах

Малышева Наталия Викторовна — канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник ФБУ ВНИИЛМ, e-mail: nat-malysheva@yandex.ru

Моисеев Борис Николаевич — канд. с.-х. наук, эксперт Рабочей группы по климату Рослесхоза, e-mail: bmoiseev@yandex.ru

Филипчук Андрей Николаевич — д-р с.-х. наук, зам. директора ФБУ ВНИИЛМ, зав. отделом аналитических исследований состояния и динамики лесов, e-mail: afilipchuk@yandex.ru

Золина Татьяна Анатольевна — старший научный сотрудник ФБУ ВНИИЛМ, e-mail: tzolina@gmail.com

Статья поступила в редакцию 25.05.2016 г.

THE METHODS OF CARBON BALANCE ESTIMATION IN FOREST ECOSYSTEMS AND THEIR APPLICATION TO CALCULATE ANNUAL CARBON SEQUESTRATION

N.V. Malysheva, B.N. Moiseev, A.N. Filipchuk, T.A. Zolina

All Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (FBU VNIILM),
15 Institutskaya st., Pushkino, Moscow reg., Russia, 141202

nat-malysheva@yandex.ru

Various methods of assessment and forecast of the carbon sequestration by forests which are based on simulation and are recognized by scientific international community have been discussed in this article. They include the following: IIASA (Austria), EFIMOD + ROMUL (Russia), ROBUL (Russia), Information System of Definition and Carbon Mapping (Russia, Ural SFTU), CBM-CFS3 (Canadian Forest service), FORCARB2 (US Forest Service). The carbon stored in forest ecosystems of the European-Ural Part of Russia is quantified. The cartographic presentation shows the annual carbon sequestration assessments according to the main types of forest ecosystems such as coniferous, broad-leaved and deciduous forests. The valuation method is based on the annual net increment in volume with equations and methodology recommended by the IPCC UN. The State forest register data have been used to estimate the carbon balance in forest ecosystems. The evaluation of carbon sequestration for an ecosystem of coniferous-deciduous (mixed) forests in European-Ural Part of Russia was made by us in 2015, which resulted in the following data : NPP = 5,92; Rh = 3,96; NEP = 1,96 t C / ha • year and NBP = 2,02 t C / ha • year. Our values of annual carbon production and carbon emission are consistent with the results of calculations for the above area made by the IIASA's scientific team. The estimate discrepancies are within the standard calculation errors.

Keywords: annual carbon sequestration, carbon balance, forest ecosystems, model-based analysis, climate change

Suggested citation: Malysheva N.V., Moiseev B.N., Filipchuk A.N., Zolina T.A. *Metody otsenki balansa ugleroda v lesnykh ekosistemakh i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya dlya raschetov godichnogo deponirovaniya ugleroda* [The methods of carbon balance estimation in forest ecosystems and their application to calculate the annual carbon sequestration]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no.1, pp. 4–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-4-13

References

- [1] *Rukovodyashchie ukazaniya po effektivnoy praktike dlya zemlepol'zovaniya, izmeneniy v zemlepol'zovanii i lesnogo khozyaystva. Programma MGEIK po natsional'nykh kadastram parnikovyykh gazov* [IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme]. Moscow, MGEIK: VMO, 2003, 330 p. Available at : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf/russian/ch3.pdf> (in Russian)
- [2] *Dopolnitel'nye metody i rukovodiashchie ukazaniya po effektivnoy praktike, vytekaiushchie iz Kiotskogo protokola. Rukovodiashchie ukazaniya po effektivnoy praktike dlya zemlepol'zovaniya, izmeneniy v zemlepol'zovanii i lesnogo khozyaystva. Programma MGEIK po natsional'nykh kadastram parnikovyykh gazov* [Supplementary Methods and Good Practice Guidance from Kyoto Protocol]. Moscow, MGEIK: VMO Publ., 2003, 137 p. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf/russian/ch4.pdf> (in Russian)
- [3] Reimers N.F. *Prirodopol'zovanie* [Environmental Management: Glossary]. Moscow, Mysl', 1990, 637 p. (in Russian).
- [4] Moiseev B.N. *Balans organicheskogo ugleroda v lesakh i rastitel'nom pokrove Rossii* [The balance of organic carbon in forests and vegetation Russia]. *Lesnoe khozyaystvo*. [Forestry], 2007, no. 2, pp. 13-16. (in Russian).
- [5] Fedorov B.G., Moiseev B.N., Siniak Iu.V. *Pogloshchayushchaya sposobnost' lesov Rossii i vybrosy uglekislogo gaza energeticheskimi ob'ektami* [The absorptive capacity of Russian forests and the carbon dioxide emissions of energy facilities]. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of Forecasting], 2011, no. 3, pp. 127-142. (in Russian).
- [6] Fedorov B.G. *Vybrosy uglekislogo gaza: uglerodnyi balans Rossii* [Carbon dioxide emissions: the carbon balance of Russia]. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of Forecasting], 2014, no. 1, pp. 63-78. (in Russian).
- [7] Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Priazhnikov A.A. *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii* [Environmental problems in the absorption of carbon dioxide through reforestation and afforestation in Russia]. Moscow, Tsentr ekologicheskoi politiki, 1995, 156 p. (in Russian).
- [8] Usol'tsev V.A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoi Evrazii* [Biological productivity of North Eurasian forests]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2007, 637 p. (in Russian).
- [9] Usol'tsev V.A., Terekhov G.G., Nenashev N.S., Pal'mova N.V., Balitskii M.I., Kasatkin A.S., Lysenko D.I., Kanunnikova O.V., Kuz'min N.I. *Biologicheskaya produktivnost' lesnykh kul'tur na boreal'nom ekotone* [Biological productivity of forest plantations in boreal ecotone]. *Khvoynye boreal'noi zony: teoreticheskii i nauchno-prakticheskii zhurnal* [Coniferous of the boreal zone: theoretical and scientific-practical journal], v. XXIV, 2007, no. 1, pp. 42-54. (in Russian).
- [10] Usol'tsev V.A. *Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii* [Phytomass and primary production of the forests of Eurasia]. Ekaterinburg: Ural branch of the RAS, 2010, 570 p. (in Russian).
- [11] Voronov M.P., Usol'tsev V.A., Chasovskikh V.P. *Issledovanie metodov i razrabotka informatsionnoi sistemy opredeleniya i kartirovaniya deponiruemogo lesami ugleroda v srede Natural* [Study of methods and development of information system definition and mapping of forest carbon deposited in the Natural environment]. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2012, 192 p. (in Russian).

- [12] Shvidenko A.Z., Shepashchenko D.G., Nil'sson S. *Materialy k poznaniu sovremennoi produktivnosti lesnykh ekosistem Rossii* [Materials to the knowledge of modern productivity of forest ecosystems of Russia]. Bazovye problemy perekhoda k ustoichivomu lesnomu khoziaistvu v Rossii: Materialy. mezhdunar. semin. 6–7 dekabria 2007 [Basic problems of transition to sustainable forestry in Russia: Materials. Intern. Semin. December 6-7]. Krasnoiar'sk, The Institute of forest. V. N. Sukachev Siberian branch RAS Publ., 2007, pp.7–37. (in Russian).
- [13] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. *Uglerodnyi biudzheta lesov Rossii* [The Carbon Budget of Russian Forests]. Sibirskii lesnoi zhurnal [Siberian Forest Journal], 2014, no. 1, pp.69-92. (in Russian).
- [14] Korovin G.N. *Problemy realizatsii Kiotskogo protokola v Rossiiskom lesnom sektore* [Problems of implementation of the Kyoto Protocol in the Russian forest sector: report on the seminar]. Rol' mekhanizmov Kiotskogo protokola v razvitiu lesa i zemlepol'zovaniia v Rossi: Doklad na seminare [The role of Kyoto Protocol mechanisms in the development of forest and land management in Russia]. Moscow, 2005, 17 p. (in Russian).
- [15] Shvidenko A.Z., Shepashchenko D.G., Vaganov E.A., Nil'sson S. *Chistaia pervichnaia produktsiia lesnykh ekosistem Rossii: novaia otsenka* [Net primary production of forest ecosystems of Russia: a new assessment]. Doklady Akademii Nauk [Reports Of Academy Of Sciences], 2008, v. 421, no. 6, pp.822-825. (in Russian).
- [16] Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L., Nadporozhskaya M.A., Michailov A.V., Bykhovets S.S., Zudina E.V., Zubkova E.V. EFIMOD2 a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems. *Ecological Modeling*, 2003, v. 170, no. 2-3, pp. 373-392.
- [17] Chertov O., Komarov A., Loukianov A., Michailov A., Nadporozhskaya M., Zubkova E. The use of forest ecosystem model EFIMOD for research and practical implementation at forest stand, local and regional levels. *Ecological Modeling*, 2006, v. 194, pp. 227-232.
- [18] Chertov O.G., Komarov A.S., Bykhovets S.S., Kobak K.I. Simulated soil organic matter dynamics in forests of the Leningrad administrative area. *Forest Ecology and Management*, 2002, v. 169, pp. 29-44.
- [19] Shanin V.N., Komarov A.S., Mikhailov A.V., Bykhovets S.S. Modeling carbon and nitrogen dynamics in forest ecosystems of Central Russia under different climate change scenarios and forest management regimes. *Ecological Modeling*, 2011, v. 222, pp. 22162-2275. doi:10.1016/j.ecolmodel.2010.11.009
- [20] Shanin V., Komarov A., Bykhovets S. Modeling the dynamics of forest ecosystems at different levels of nitrogen disposition and climate change. Available at: http://www.nitrogen2011.org/oral_presentations/S17_1_Shanin.pdf
- [21] Shanin V.N. *Imitatsionnoe modelirovanie dinamiki lesnykh ekosistem pri razlichnykh lesokhoziaistvennykh i klimaticheskikh stseneriiakh*. Diss. kand. biol. nauk [Modeling of forest ecosystems dynamics under different forest and climate scenarios. Cand. biol. sci. diss.]. Syktyvkar, IB Komi SC UrD RAS Publ., 2011, 18 p. (in Russian).
- [22] Stocks B.J., Levine J.S. The extent and impact of forest fires in northern circumpolar countries. *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications*, 1991, pp. 197-202.
- [23] Colombo S.J., Parker W.C., Luckai N., Dang Q., Cai T. The Effects of Forest Management on Carbon Storage in Ontario's Forests. *Climate Change Research Report CCRR-03*, 2005, 123 p.
- [24] Stinson G., Kurz W.A., Smith C.E., Nelson E.T., Dymond C.C., Metsaranta J.M., Boisvenue C., Rampley G.J., Li Q., White T.M., Blain D. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008. *Global Change Biology*, 2011, v. 17, no. 6, p. 2227–2244. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02369.x
- [25] Liu S., Bond-Lamberty B., Hicke J.A., Vargas R., Zhao S., Chen J., Edburg S., Hu Y., Liu J., McGuire D., Xiao J., Keane R., Yuan W., Tang J., Luo Y., Potter C., Oeding J. Simulation the impacts of disturbances on forest carbon cycling in North America: Processes, data, models and challenges. *Journal of Geophysical Research*, 2011, v. 116, 22 p. doi: 10.1029/2010JG001585
- [26] Heath L., Nichols M., Smith J., Mills J. FORCARB2. An Updated version of U.S. Forest Carbon Budget Model. General Technical Report. NRS-67. USDA Forest Service, Northern Research Station, 2010, 52 p. Available at: <http://nrs.fs.fed.us/pubs/35613>.
- [27] Chumachenko S.I., Palenova M.M., Korotkov V.N. *Prognoz dinamiki taksatsionnykh pokazatelei lesnykh nasazhdenii pri raznykh stseneriiakh vedeniia lesnogo khoziaistva: model' dinamiki lesnykh nasazhdenii FORRUS-S* [Forecast of the dynamics of the biophysical parameters of forest stands at different scenarios of forest management: the FORRUS-S, model of the dynamics of forest stands]. *Ekologiya, monitoring i ratsional'noe prirodopol'zovanie* [Ecology, monitoring and rational nature management], 2001, v. 314, pp. 128-146. (in Russian).
- [28] Chumachenko S.I., Smirnova O.V. *Modelirovanie razvitiia nasazhdenii v khode autogennykh suksessii* [Modeling of development of plantations in the course of autogenic succession]. *Lesovedenie*. [Silviculture], 2009, no. 6, pp. 3-17. (in Russian).
- [29] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Vaganov E.A., Sukhinin A.I., Maksutov Sh.Sh., Mkhallum I., Lakida I.P. *Vliianie prirodnykh pozharov v Rossii 1998-2010 gg. na ekosistemy i global'nyi uglerodnyi biudzheta* [The influence of natural fires in Russia 1998-2010 on ecosystems and the global carbon budget]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2011, v. 441, no. 4, pp. 544-548. (in Russian).
- [30] Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. *Klimaticheskie izmeneniia i lesnye pozhary v Rossii* [Climate change and forest fires in Russia]. *Lesovedenie* [Silviculture], 2013, no. 5, pp. 50-61. (in Russian).
- [31] Kull S.J., Kurz W.A., Rampley G.J., Banfield G.E., Schivatcheva R.K., Apps M.J. *Operatsionnaia model' ucheta ugleroda Kanadskogo lesnogo sektora CBM-CFS3 versiiia 1.0: rukovodstvo pol'zovatel'ia* [The operating model of carbon accounting Canadian forest sector CBM-CFS3 version 1.0: User's Guide]. Northern Forestry Centre, 2010, 112 p. (in Russian).
- [32] Carbon Budget Model. Available at: <http://www.nrcan.gc.ca/forests/climate-change/13107>
- [33] Malkhazova S.M., Minin A.A., Leonova N.B., Rumiantsev V.Iu., Soldatov M.S. *Tendentsii vozmozhnykh izmenenii rastitel'nosti na Evropeiskoi territorii Rossii i Zapadnoi Sibiri* [Trends of possible changes of vegetation in European Russia and Western Siberia]. *Ekologo-geograficheskie posledstviia global'nogo potepeniia klimata XXI veka na Vostochno-Evropeiskoi ravnine i v Zapadnoi Sibiri* [Ecological and geographical consequences of global climate warming in XXI century on the East European plain and in Western Siberia]. Moscow: MAKS Press Publ., 2011, pp. 342-376.
- [34] Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Korovin G.N., Kurts V.A. *Otsenka i prognos uglerodnogo biudzheta lesov Vologodskoi oblasti po kanadskoi modeli CBM-CFS* [Assessment and forecast of the carbon budget of the Vologda region of forests on the Canadian model CBM-CFS]. *Lesovedenie* [Silviculture], 2008, no. 6, p. 3-14. (in Russian).

- [35] Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Kurts V.A. *Vliianie ob'emov lesopol'zovaniia na ugleodnyi balans lesov Rossii: prognoznyi analiz po modeli CBM-CFS3* [Effect of forest management on the volume of the carbon balance of forests in Russia: predictive analysis on CBM-CFS3 model]. *Trudy SPbNILH* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2014, no.1, pp. 5-18. (in Russian).
- [36] Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Shuliak P.P., Chestnykh O.A. *Vliianie pozharov i lesozagotovok na ugleodnyi balans lesov Rossii* [The impact of fires and logging on the carbon balance of forests in Russia]. *Lesovedenie* [Silviculture], 2013, no. 5, pp. 36-49. (in Russian).
- [37] Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Korovin G.N. *Biudzheth ugleroda upravliaemykh lesov Rossiiskoi Federatsii s 1990-2050 gg: retrospektivnaia otsenka i prognoz* [Carbon budget of the Russian Federation managed forests in 1990-2050: The retrospective evaluation and forecast]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2013, no.10, pp. 73-94. (in Russian).
- [38] Zamolodchikov D., Grabovskii V., Kurts V. *Upravlenie balansom ugleroda lesov Rossii: proshloe nastoiashchee i budushchee* [Carbon balance management of Russian forests: Past, Present and Future]. *Ustoichivoe lesopol'zovanie* [Sustainable forest management], 2014, no. 2(39), pp. 23-31. (in Russian).
- [39] Moiseev B.N., Filipchuk A.N. *Metodika MGEIK dlia rascheta godichnogo deponirovaniia ugleroda i otsenka ee primeneniia dlia lesov Rossii* [IPCC methodology for the calculation of the annual carbon sequestration and evaluation of its application for the Russian forest]. *Lesnoe khoziaistvo* [Forestry], 2009, no.4, pp.11-13. (in Russian).
- [40] Moiseev B.N. *Otsenka godichnogo deponirovaniia ugleroda po zapasu drevesiny v lesakh Rossii* [Evaluation of the annual carbon sequestration on a stock of wood in the forests of Russia]. *Lesnoe khoziaistvo* [Forestry], 2011, no.1, pp.16-18. (in Russian).
- [41] *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniiu gosudarstvennoi inventarizatsii lesov: Prilozheniia* [Guidelines for the State Forest Inventory in Russia, Applications]. *Prikaz Rosleskhoza ot 10.11.2011 № 472* [Approved and put into effect by Order of the Russian Federal Forestry Agency from 10.11.2011 no. 472]. (in Russian).
- [42] *Metodika otsenki obshchego i godichnogo deponirovaniia ugleroda lesami Respubliki Belarus'* [Methods of assessing the total and the annual carbon sequestration by forests of the Republic of Belarus]. Approved and put into effect by Order of the Ministry of Forestry of the Belarus Republic from 28.03.2011, no. 81, Minsk: BGTU, LRUP «Belgosles» Publ., 2011, 19 p. (in Russian).
- [43] Rozhkov L.N. *Metodicheskie podkhody rascheta ugleodnykh pulov v lesakh Belarusi* [Methodological approaches for calculating carbon pools in the forests of Belarus]. *Ekologiya, lesovodstvo i okhotnich'e khoziaistvo. Trudy BGTU. Lesnoe khoziaistvo* [Ecology, forestry and hunting. Proceedings of BGTU. Forestry], 2011, no. 1, pp. 62-70. (in Russian).
- [44] Shatravko A.V., Rozhkov L.N. *Ugleodnye potoki v lesakh Respubliki Belarus'* [Carbon flows in the Republic of Belarus forests]. *Trudy BGTU* [Ecology, forestry and hunting. Proceedings of BGTU. Forestry], 2012, № 1, pp. 314-317. (in Russian).
- [45] Rozhkov L.N. *Prognoz godichnykh potokov «stoka-emissii» uglekislogo gaza lesnoi ekosistemoi Belarusi* [Forecast annual flows «stock-emission» of carbon dioxide forest ecosystem Belarus]. *Trudy BGTU, Lesnoe khoziaistvo* [Ecology, forestry and hunting. Proceedings of BGTU. Forestry], 2013, no. 1, pp. 100-102. (in Russian).
- [46] Rozhkov L.N. *Ustoichivoe lesopol'zovanie i sokrashchenie vybrosov uglekislogo gaza* [Sustainable forest management and the reduction of carbon dioxide emissions]. *Ekologiya, lesovodstvo i lesokhotnich'e khoziaistvo. Trudy BGTU*. [Ecology, forestry and hunting. Proceedings of BGTU. Forestry], 2014, № 1, pp. 97-99. (in Russian).
- [47] Zamolodchikov D.M. *Sistemy otsenki i prognoza zapasov ugleroda v lesnykh ekosistemakh* [The system of assessment and forecast of carbon stock in forest ecosystems]. *Ustoichivoe lesopol'zovanie* [Sustainable Forestry], 2011, no. 4 (29), pp. 15-22. (in Russian).

Author's information

Malysheva Nataliya Viktorovna — Cand. Sci. (Geographical), leading researcher of All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM), e-mail: nat-malysheva@yandex.ru

Moiseev Boris Nikolayevich — Cand. Sci (Agricultural), expert of the Working group on climate of Federal Forestry Agency, e-mail: bmoiseev@yandex.ru

Filipchuk Andrey Nikolayevich — Dr. Sci (Agricultural), Deputy Director of All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM), head of Analytical Studies on Status and Dynamics of Forests Department, e-mail: afilipchuk@yandex.ru

Zolina Tatiana Anatolievna — Senior researcher of All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM), e-mail: tzolina@gmail.com

Received 25.05. 2016