УДК 630*907.3: 528.94 DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-426-436

Малышева Н.В.[1], Золина Т.А.[2], Моисеев Б.Н.[3]

ВКЛАД ГИС В МЕТОДИКУ ОЦЕНКИ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА ЛЕСАМИ РОССИИ

АННОТАЦИЯ

Парижское соглашение мотивирует совершенствование методов учета объемов поглощения CO_2 лесами России и объективной оценки эмиссий CO_2 в секторе землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства. В статье рассмотрено использование ГИС для поддержки методики и экспериментальных работ по оценке поглощения углерода лесами России. Методика основана на данных государственного лесного реестра (ГЛР), форм ведомственной отчетности об объемах заготовки древесины, площадях лесов, погибших в результате воздействия неблагоприятных антропогенных факторов, данных статистической отчетности Федеральной службы государственной статистики (Росстат). В среде ArcGIS составлена карта таксонов лесорастительного районирования (лесных районов) и выполнена стратификация лесов по лесорастительным условиям и продуктивности. С помощью инструментария ГИС идентифицированы однородные по лесорастительным условиям страты, со значениями коэффициентов, необходимых для численной оценки запасов и депонирования углерода лесами. Оверлейные процедуры ГИС позволили увязать площади лесных земель и запасы стволовой древесины по лесничествам с таксонами зонирования, а затем, используя конверсионные коэффициенты преобразования запасов стволовой древесины в фитомассу и другие параметры, рассчитать запасы и годичное накопление углерода. Экспериментальные расчеты выполнены по данным отраслевой и федеральной статистики за 2015 г. Результаты экспериментальных расчетов запасов углерода в лесах, годичного депонирования углерода и углеродного баланса представлены в картографической форме. Экспериментальные оценки сопоставлены с опубликованными оценками национальной отчетности по международным соглашениям. Расчеты баланса углерода в лесах Российской Федерации, выполненные по предлагаемой методике показывают, что итоговая величина нетто-стока углерода – чистая биомная продукция (NBP) – составила в 2015 г. порядка 521,5 Мт С/год. По нашим оценкам в национальной отчетности по международным соглашениям нетто-поглощение углерода лесами (NBP) занижено приблизительно на 360 Мт С/год.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: леса России, ГИС, поглощение углерода лесами, баланс углерода, чистая экосистемная продукция (NEP), чистая биомная продукция (NBP).

---

[1] Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ФБУ ВНИИЛМ), ул. Институтская д. 15, 141200, Пушкино, Московская обл., Россия, *e-mail:* **nat-malysheva@yandex.ru**

[2] Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ФБУ ВНИИЛМ), ул. Институтская д. 15, 141200, Пушкино, Московская обл., Россия, *e-mail:* **tzolina@gmail.com**

[3] ООО НПЦ «Лесное дело», Рубцовская набережная д. 3, стр. 1, 105082, Москва, Россия, *e-mail:* **bmoiseev@yandex.ru**

Nataliya V. Malysheva[1], Tatiana A. Zolina[2], Boris N. Moiseev[3]

GIS SUPPORT THE METHODS FOR ASSESSMENT OF CARBON SEQUESTRATION CAPACITY IN THE RUSSIAN FORESTS

ABSTRACT

The Paris Agreement motivates the improvement of methods for accounting the CO_2 absorbed by Russia's forests and an objective assessment of CO_2 greenhouse gas emissions in Land Use, Land Use Change and Forestry sectors. GIS support to the methodology and experimental work on assessing carbon sequestration capacity in the Russian forests is discussed in the article. The methodology based on the State Forest Register data, reports on timber harvesting volumes, reports on forest areas damaged by unfavorable anthropogenic factors, statistical reports of the Federal State Statistics Service (Rosstat). The State Forest Register data are presented on forest management units (lesnichestvo) and regions. Due to ArcGIS software, the map with homogeneous forest site-specific condition zones compiled. The GIS tool helped to identify the strata with homogeneous site-specific and forest-growing conditions. Biomass expansion factor for converting the forest growing stock in the volume of aboveground tree biomass and some other parameters needed for the calculations of forest carbon sink linked to the strata. GIS overlay procedures allowed to bind the growing stock on forest areas with zoning, and then, using an expansion factor for converting the growing stocks in biomass and other parameters, to calculate the forest carbon stocks and annual forest carbon sink. Experimental calculations performed by State Forest Register data and federal statistics for 2015. Based on the results of calculations, the maps of carbon stocks in the Russian forests, carbon sequestration by Russian forests and carbon balance were produced. Our experimental assessments were compared with National inventory report of the Russian Federation on greenhouse gas emissions and removals (2017) and the seventh Russian national communication under the UNFCCC. Calculations performed according to the proposed methodology showed that the net carbon sink in the Russian forests was about 521.5 million tons C/year for 2015. According to our research, the underestimation of the carbon sink in Russian forests would be approximately 360 million tons C/year total.

KEYWORDS: Russian forests, GIS, carbon sink, carbon balance, net ecosystem production (NEP), net biome production (NBP).

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия антропогенно обусловленное изменение климата осознано как объективная реальность. Противодействие и смягчение последствий изменения климата рассматривается как одна из глобальных целей устойчивого развития. Сектор землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) служит как источником эмиссий, так и стоком парниковых газов (ПГ). Эмиссии обусловлены обезлесением, заготовкой и вывозкой древесины, лесными пожарами антропогенного происхождения и т. д. Вместе с тем, на сегодня и в перспективе, к началу действия Парижского соглашения (после 2020 г.), этот сектор обладает большим потенциалом смягчения последствий изменения климата за счет аккумулирования CO_2 лесами и накопления в стоке.

[1] Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (FBU VNIILM), Institutskaya str., 15, 141200, Pushkino, Moscow region, Russia, *e-mail*: **nat-malysheva@yandex.ru**
[2] Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (FBU VNIILM), Institutskaya str., 15, 141200, Pushkino, Moscow region, Russia, *e-mail:* **tzolina@gmail.com**
[3] LLC "Lesnoye Delo", Rubtsovskaya embankment, 3, 105082, Moscow, Russia, *e-mail*: **bmoiseev@yandex.ru**

В отличие от всех других секторов экономики, лесной сектор предлагает две возможности смягчения последствий изменения климата за счет увеличения поглощения ПГ (абсорбции лесами) и за счет снижения выбросов ПГ (эмиссий). Все прочие секторы экономики могут лишь вносить свой вклад в сокращение атмосферных эмиссий ПГ. По прогнозам экспертов, сектор ЗИЗЛХ к 2030 г. будет обеспечивать около 25 % снижения суммарных эмиссий ПГ, заявленных странами в национально определяемых вкладах в сокращение выбросов ПГ при подписании Парижского соглашения по климату [Forsell et al., 2016; Krug, 2018]. В России в настоящее время сектор ЗИЗЛХ компенсирует около 20 % общего объема выбросов других секторов [http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom_/application/pdf/20394615_russian_federation-nc7-1-7nc.pdf].

Чтобы оценить вклад деятельности по рациональному использованию, охране, защите и воспроизводству лесов, т. е. устойчивому управлению лесами, в смягчение последствий изменения климата, необходимо регулярно следить за временной динамикой стоков и эмиссий ПГ в лесах. Эта задача реализуется посредством проведения национальных инвентаризаций (национального кадастра) выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов по секторам экономики, в том числе по сектору ЗИЗЛХ. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) разрабатывает методологию и требования к подготовке данных национальных инвентаризаций выбросов и стоков парниковых газов из атмосферы. Результаты инвентаризаций публикуют в виде национальных докладов о кадастре и национальных сообщений в соответствии с международными обязательствами стран, подписавших Рамочную конвенцию ООН (РКИК ООН) и Киотский протокол. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов инициирован Распоряжением Правительства от 01.03.2006 № 278-р (в ред. 10.03.2009). Подготовку национальной отчетности по международным климатическим соглашениям и разработку методов оценки выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов выполняют научные организации и региональные подразделения Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

Парижское соглашение мотивирует совершенствование методов учета объемов поглощения CO_2 лесами России и объективной оценки эмиссий CO_2 в секторе ЗИЗЛХ. Количественной оценке способности российских лесов поглощать и накапливать углерод посвящены тысячи работ разных научных коллективов. Однако результаты оценок, полученные этими коллективами, значительно расходятся при высокой степени неопределенности. Так, например, сток углерода в леса России составляет по оценкам независимых отечественных и зарубежных исследовательских групп: 173 ± 69 Мт С/год [http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/NIR-2017_v1_fin.pdf], 520 ± 99 Мт С/год [Pan et al., 2011], 690 Мт С/год [Dolman et al., 2012], 800 Мт С/год [Kudeyarov, 2005]. Причина таких больших расхождений не только в различных методах оценки и используемых источниках данных, терминологические разночтения и методические неточности, при условии использования в расчетах одних и тех же данных, могут дать результаты, различающиеся в разы. Так, например, 7-е Национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии с международными обязательствами по климатическим соглашениям [http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom_/application/pdf/20394615_russian_federation-nc7-1-7nc.pdf], приводит оценку чистого поглощения углерода лесами России (NBP) в 2015 г. в 173 Мт С/год. В работе [Филипчук и др., 2017] величина чистого поглощения оценивается в ≈ 520 Мт С/год. При этом в расчетах оба коллектива используют общедоступные данные статистической отчетности о лесах страны и методические руководства МГЭИК. Проблема объективной оценки поглощения углерода лесами России продолжает оставаться актуальной и побуждает продолжать научные исследования.

Геоинформационная поддержка исследований и практических учетных работ по оценке объемов поглощения углерода лесами России и углеродного баланса, как правило, сведена к визуализации результатов в картографической форме [Замолодчиков и др., 2014]. Исключением являются работы группы ученых Института прикладного системного анализа [Schepaschenko et al., 2015], использующей наземные и дистанционные данные о земельном покрове, ландшафтах и растительности, которые хранятся и загружаются в Интегральную земельную информационную систему (ИЗИС). Затем производится отбор и обработка информации для получения параметров, включенных в расчет накопления углерода и углеродного баланса лесов России.

Анализ исследований, выполненных разными научными коллективами [Замолодчиков и др., 2014; Филипчук и др., 2017] показывает, что от того, насколько правильно определены категории оценки, стратифицированы и пространственно локализованы учетные единицы кадастра, от уровня детальности расчетов и использованных алгоритмов зависит суммарная величина запасов углерода в лесах, объемов ежегодного поглощения углерода лесами (абсорбции CO_2) и, в конечном итоге, углеродного баланса.

Цель исследований: с помощью ГИС выполнить стратификацию лесов по лесорастительным условиям и продуктивности, сгруппировать по стратам учетные единицы кадастра в секторе ЗИЗЛХ, представить в картографической форме выполненные экспериментальные расчеты запасов углерода в лесах, годичного депонирования углерода и углеродного баланса, сопоставить свои экспериментальные оценки с оценками, опубликованными в национальной отчетности по международным соглашениям.

Использование инструментов ГИС является составной частью разработанной нами методики учета поглощения CO_2 лесами Российской Федерации (далее – Методика) [Методика…, 2017]. В основу Методики положены рекомендации Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Руководящие указания..., 2003; Руководящие принципы..., 2006] и международные правовые документы РКИК ООН, принятые Россией на добровольной основе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика предусматривает использование материалов ежегодной статистической отчетности по лесам России, включающей: данные государственного лесного реестра (ГЛР), формы ведомственной отчетности об объемах заготовки древесины, площадях лесов, погибших в результате воздействия неблагоприятных антропогенных факторов и т. д., данные статистической отчетности Федеральной службы государственной статистики (Росстат). Расчетные работы основаны на данных двух уровней – локального (по лесничествам) и регионального (по субъектам). Данные государственного лесного реестра локального уровня по лесничествам (единицам управления лесами) описывают качественные и количественные характеристиками лесов – преобладающие древесные породы, группы возраста, запасы стволовой древесины и пр. Статистические данные об объемах заготовки древесины, площадях лесов, погибших в результате воздействия неблагоприятных антропогенных факторов, включенные в расчет выбросов ПГ, агрегированы по регионам (субъектам Российской Федерации).

Алгоритмы расчетов и последовательность выполнения оценки запасов, поглощения, эмиссий углерода и углеродного баланса подробно изложены в работе [Методика…, 2017]. Экспериментальное опробование работоспособности Методики проведено по данным ГЛР и федеральной статистики за 2015 г. для удобства сопоставления полученных количественных оценок с оценками последнего национального кадастра, подготовленного по данным за этот же период времени [http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/NIR-2017_v1_fin.pdf].

Для исключения разночтений в оценках углеродного баланса национального уровня и трудностей свода информации для последующей глобальной оценки принято придерживаться терминологии по категориям учета, рекомендованным МГЭИК. К таким категориям относятся: лес, управляемые леса, управление лесным хозяйством. Статья 3.4. Киотского протокола, реализующего принципы РКИК ООН, предусматривает для подготовки национальной отчетности определение и территориально-пространственную идентификацию территорий, соответствующих категории «лес». В лесном хозяйстве России понятию «лес» отвечает термин «земли, занятые лесными насаждениями», а земли, временно утратившие лесной покров, но предназначенные для его восстановления, относят к «землям, не занятым лесными насаждениями». Эти две категории в совокупности образуют «лесные земли», соответствующие категории «лес» в международных документах [https://unfccc.int/cop7/documents/accords_draft.pdf]. Таким образом, объектами учета или учетными единицами кадастра стоков и источников парниковых газов являются лесные земли.

Отличительной особенностью разработанной Методики служит расширение перечня объектов, подлежащих учету, т. е. объектом расчетов стока/эмиссий CO_2 являются ***все лесные земли*** на территории субъектов Российской Федерации. К таким объектам относятся как земли лесного фонда, так и другие земли, на которых расположены леса, в том числе земли промышленности, энергетики, транспорта, земли обороны и земли иного специального назначения, земли населенных пунктов, земли особо охраняемых территорий и объектов и другие категории. С научной точки зрения, которой мы придерживаемся, целесообразно вести оценку накопления углерода и углеродного баланса для всех лесов страны, а не только земель лесного фонда и некоторых других земель, как в национальной отчетности по климатическим соглашениям [http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/NIR-2017_v1_fin.pdf].

Согласно руководящим указаниям МГЭИК, оценку стоков углерода и углеродного бюджета для сектора ЗИЗЛХ проводят для «управляемых лесов». Методология МГЭИК выделяет «управляемые леса» как территорию, где осуществляются систематическая антропогенная деятельность или вмешательство с целью выполнения соответствующих социальных, экономических и экологических задач [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp]. В соответствии с российским лесным законодательством земли лесного фонда по целевому назначению делятся на защитные, эксплуатационные и резервные (ст. 10 Лесного кодекса, 2007). К резервным отнесены леса, в которых в течение 20 лет не планируется промышленная заготовка древесины (ст. 109 Лесного кодекса, 2007). Это леса удаленных районов Сибири и Дальнего Востока страны. Их роль в поддержании экологических функций биосферы планеты многократно превосходит ресурсное значение. Обоснование определения термина «управляемые леса» для подготовки национальной отчетности России по климатическим соглашениям было принято в 2006 г. Тогда к «управляемым» были отнесены леса только защитного и эксплуатационного назначения в составе земель лесного фонда. Резервные леса в «управляемые» не попали [http://www.ncsf.ru/uploads/userfiles/files/57.pdf] и до настоящего времени не учитываются в национальном кадастре. На сегодня леса защитного и эксплуатационного назначения занимают 76,4 %, а резервные леса 23,6 % общей площади земель лесного фонда России. По состоянию на 2015 г. их площадь составляет порядка 200 млн га, а общий средний прирост запаса древесины оценивается в 244 млн $м^3$/год. С 2006 г. прошло 12 лет, за это время изменилась система управления лесами. В соответствии с современным лесным законодательством в резервных лесах проводятся мероприятия по охране от пожаров, защите от вредителей и болезней леса, осуществляется пользование лесов без промышленной заготовки древесины, проводятся хозяйственные мероприятия, хотя не полный их перечень и в ограниченном объеме, они включены в региональные лесные планы, т. е. есть основания

пересмотреть их исключение из национальной отчетности и отнести их к учетной категории «управляемых». В разработанной методике и в своих экспериментальных расчетах мы считаем обоснованным отнести к «управляемым» все леса страны, в том числе и резервные. По нашим оценкам только эти неучтенные в Национальном кадастре [http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/NIR-2017_v1_fin.pdf] резервные леса ежегодно поглощают порядка 120 млн т С/год. На рис. 1 показано пространственное распределение лесов преимущественно резервного назначения, которые с научной точки зрения, целесообразно включить в расчеты при подготовке национального кадастра по сектору ЗИЗЛХ.

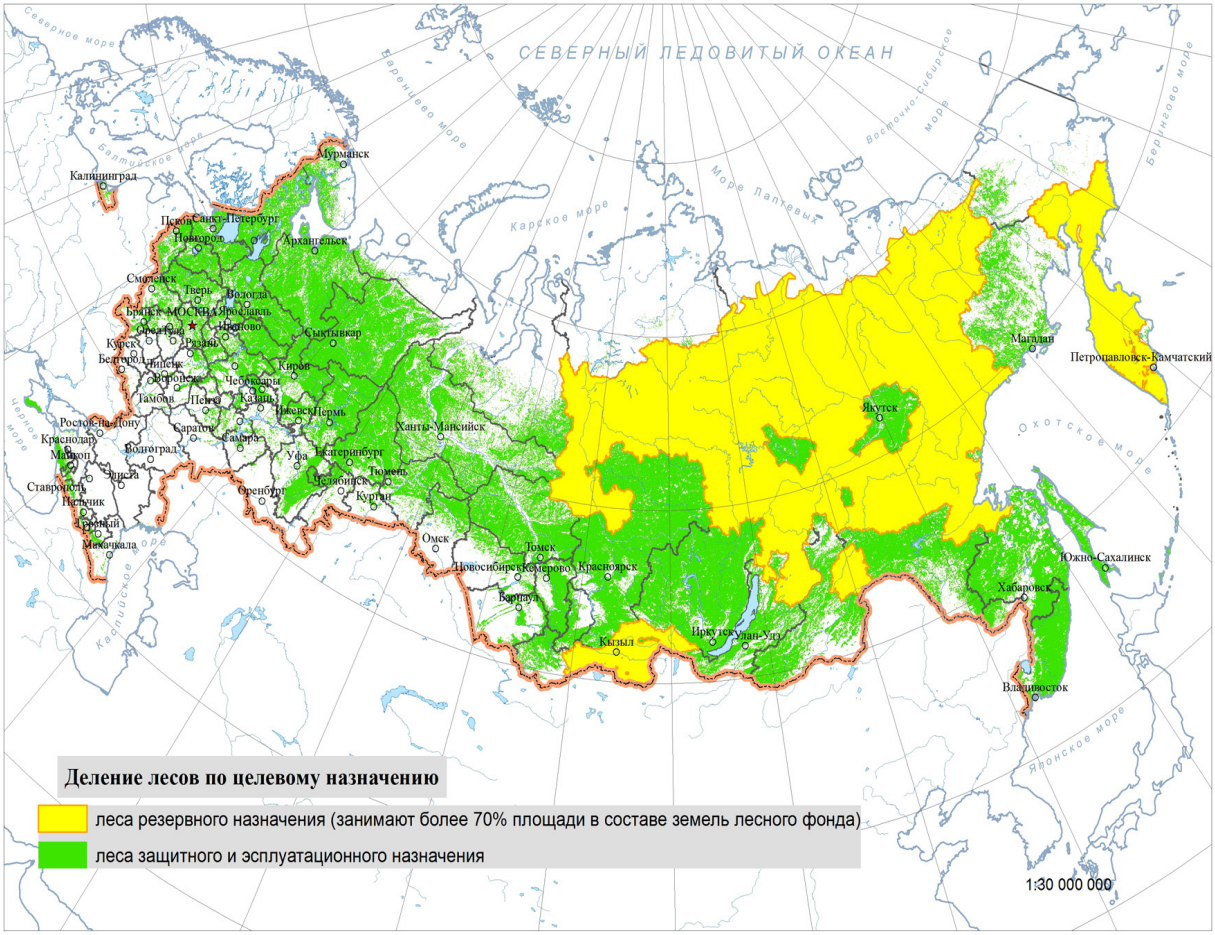

Рис. 1. Пространственное распределение лесов резервного целевого назначения
Fig. 1. Spatial distribution of "inaccessible" forests (wild forests in remote areas)

МГЭИК настоятельно рекомендует при ведении национального кадастра стоков парниковых газов по сектору ЗИЗЛХ использовать лесорастительное или лесотипологическое районирование [Руководящие принципы..., 2006]. В наставлениях, подготовленных группой международных экспертов МГЭИК, указано, что данные по сектору ЗИЗЛХ необходимо стратифицировать по географически обусловленным таксономическим единицам, для которых в итоге сформировать суммарную оценку накопления (депонирования) углерода и углеродного баланса. Лесорастительное районирование позволяет учесть в расчетах зависимость производительности лесов России от климатических и почвенно-геологических условий, их приуроченность к субарктическому и умеренному климатическим поясам. Прирост запаса стволовой древесины (производительность лесов) функционально связан с богатством лесорастительных условий. Запас и прирост

запаса стволовой древесины различных пород – это исходные параметры для расчетов запасов углерода и годичного накопления углерода лесами. К стратам лесорастительного районирования привязаны конверсионные коэффициенты для пересчета запаса стволовой древесины в надземную фитомассу и другие параметры расчетов, в том числе, соотношение подземной и надземной фитомассы, коэффициенты запаса углерода в лесной подстилке и пр. Увязка коэффициентов со стратами позволяет рассчитать запас углерода во всех резервуарах (пулах), рекомендованных МГЭИК для национального кадастра, – фитомассе, мертвом органическом веществе, подстилке, принимая во внимание особенности произрастания лесов на территории России. Стратификация лесов необходима при расчетах еще и потому, что она существенно уменьшает неопределенность оценок поглощения CO_2 лесами.

Нормативно-правовые документы, регламентирующие ведение лесного хозяйства в Российской Федерации, предусматривают использование лесорастительных зон и лесных районов, утвержденных Министерством природных ресурсов и экологии (Приказ от 23.12.2015 № 569, ред. от 21.03.16 № 83). В среде ArcGIS подготовлена карта деления территории России на лесные районы, которая постоянно обновляется нами по мере внесения изменений в нормативно-правовые документы. Созданная в программной среде ArcGIS цифровая основа с полигональным слоем лесных районов использована для стратификации территории России на «географически обусловленные таксономические единицы». На сегодня, согласно отраслевым нормативно-правовым документам, территория России подразделена на 8 лесорастительных зон и 41 лесной район. Функциональные возможности анализа геопространственных данных, доступные в ГИС (операции наложения и пересечения полигонов в ArcGIS), позволили увязать несколько вариантов лесорастительного районирования [Малышева и др., 2017] и сформировать страты, с которыми корреспондируются конверсионные коэффициенты для пересчета запаса стволовой древесины в фитомассу и другие параметры расчетов. Таким образом, с помощью инструментария ГИС идентифицированы однородные по лесорастительным условиям страты, со значениями коэффициентов, необходимых для численной оценки запасов и депонирования углерода лесами.

Подготовленная нами ранее цифровая основа с полигонами территориальных единиц управления лесами (лесничеств) России [Малышева и др., 2017] использована в настоящей работе для пространственной локализации данных по учетным единицам кадастра ПГ. Оверлейные процедуры ГИС позволили дифференцировать полигоны лесничеств по приуроченности к лесным районам, увязать площади лесных земель и запасы стволовой древесины с таксонами зонирования, а затем, используя конверсионные коэффициенты преобразования запасов стволовой древесины в фитомассу и другие параметры, рассчитать запасы и годичное накопление углерода в лесах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Переосмысление и расширение перечня объектов кадастра по сектору ЗИЗЛХ, геоинформационная поддержка методики работ для стратификации объектов кадастра по лесным районам, привязка данных на уровне лесничеств о площадях и запасах стволовой древесины к таксонам зонирования, дифференциация по лесным районам конверсионных коэффициентов, позволили рассчитать запасы углерода в лесах по лесничествам, оценить накопление углерода, провести расчеты эмиссий углерода по регионам и, в конечном итоге, оценить баланс углерода в лесах России. Геоинформационная поддержка оценки депонирования углерода лесами России и углеродного баланса опробована в ходе экспериментальных исследований по данным отраслевой и федеральной статистики за 2015 г.

Для пространственного представления результатов расчетов и локализации рассчитанных данных в границах объектов кадастра (лесных земель) потребовалось подготовить пространственную основу с полигонами лесных земель. Полигоны лесных земель сформированы в среде ГИС посредством преобразования карты лесов Российской Федерации, которая размещена в открытом доступе в растровых форматах (TIFF и ArcInfo GRID) [http://www.forestforum.ru/gis.php]. Исходная карта составлена по результатам дешифрирования космических снимков MODIS с пространственным разрешением 250 м в видимом диапазоне электромагнитного спектра и имеет географическую привязку. Выполнена векторизация растра с подразделением площадных объектов (полигонов) на две группы: лесные и нелесные земли. Полученная пространственная основа (базовая карта) в последующем использована для визуализации численных оценок запасов углерода в лесах России, годичного накопления запасов углерода, ежегодных потерь запасов углерода, вследствие воздействия неблагоприятных антропогенных факторов, и углеродного баланса.

Методика расчетов предусматривает использование ряда количественных и качественных показателей. Основными характеристиками продукционного и экологического потенциала лесов служат преобладающие древесные породы и их группы, возрастная структура лесов, запасы и годичный прирост запасов стволовой древесины. Реализация методических решений в ходе экспериментальной апробации разработанных алгоритмов позволила оценить запасы углерода в лесах в целом и по отдельным резервуарам (пулам), годичное накопление углерода лесами в целом и по пулам, годичные потери углерода в результате воздействия антропогенных факторов, баланс углерода в лесах по состоянию на 01.01.2016 г. Результаты расчетов представлены в картографической форме на заключительном этапе работ. На рис. 2 проиллюстрирована оценка годичного накопления углерода в биомассе лесов России (NEP). Карта дает пространственное представление о годичном стоке углерода и его соответствии с производительностью лесов разных древесных пород и групп возраста. Результаты наших расчетов годичного депонирования углерода лесами России, представленные пространственно, и суммарные оценки баланса углерода, схожи с численными оценками авторитетного научного коллектива Института прикладного системного анализа – IIASA [Швиденко, Щепащенко, 2014]. Расхождения оценок находятся в пределах неопределенности расчетов.

Полученные нами результаты интересно сопоставить с оценками, приведенными в последнем национальном кадастре ПГ по сектору ЗИЗЛХ, подготовленном Росгидрометом по данным за этот же период времени [http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/NIR-2017_v1_fin.pdf]. Сток углерода в управляемые леса лесного фонда обусловливает положительный баланс углерода или нетто-сток, который оценивается Росгидрометом в 160,7 Мт С/ год (без учета пула почв, но с коррекцией на поглощение углерода лесами, расположенными на землях особо охраняемых природных территорий, обороны и безопасности). Расчеты баланса углерода для лесов всех учетных категорий кадастра, выполненные по предлагаемой нами методике, показывают, что итоговая величина нетто-стока углерода – чистая биомная продукция (NBP) – составила в 2015 г. порядка 521,5 Мт С/год. По нашим оценкам базовая методика, принятая Росгидрометом для подготовки национальной отчетности по международным соглашениям, занижает нетто-поглощение углерода лесами (NBP) приблизительно на 360 М т С/год. При этом следует оговориться, что леса, как признает методология учета источников/поглотителей парниковых газов МГЭИК, относятся к объектам, оценка которых выполняется с высокой степенью неопределенности. Величина неопределенности достигает порядка 30 % в расчетах по обеим методикам [http://www.ncsf.ru/uploads/userfiles/files/57.pdf].

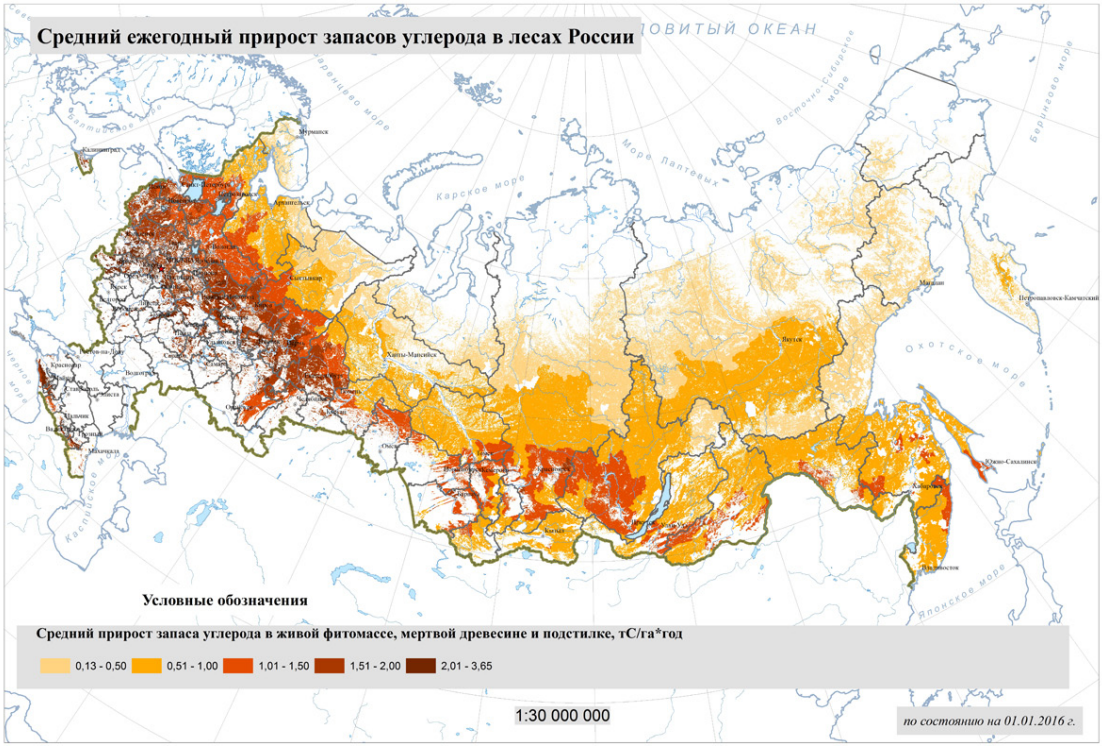

Рис. 2. Годичное накопление углерода в биомассе лесов России
Fig. 2. Net carbon absorption in biomass of the Russian forests

ВЫВОДЫ

С помощью инструментария ГИС идентифицированы страты, соответствующие современному отраслевому варианту лесорастительного районирования, со значениями конверсионных коэффициентов, необходимых для численной оценки годичного поглощения углерода лесами. Стандартные операции ГИС позволили привязать исходные данные по территориальным единицам управления лесами (лесничествам) к стратам с однородными лесорастительными условиями. Для территорий лесничеств с учетом площади, приуроченной к стратам, определены конверсионные коэффициенты для пересчета запасов стволовой древесины в надземную фитомассу и другие параметры расчетов, в том числе, соотношение подземной и надземной фитомассы, коэффициенты запаса углерода в лесной подстилке и пр. Выполнены расчеты запасов углерода и годичного прироста запасов углерода по лесничествам России, которые представлены в картографической форме.

Пространственно локализованы учетные единицы кадастра стоков и источников ПГ. Экспериментальные расчеты потерь запасов углерода, годичного накопления углерода и углеродного баланса в лесах России, выполненные по данным отраслевой и федеральной статистики за 2015 г., визуализированы в виде карт.

Сопоставление наших экспериментальных оценок с оценками, опубликованными в национальной отчетности по международным соглашениям, показывает, что расчеты, выполненные Росгидрометом по базовой методике для подготовки национальной отчетности по международным соглашениям, занижают нетто-поглощение углерода лесами (NBP) по состоянию на 01.01.2016 г. приблизительно на 60–70 %. Поскольку леса относятся к объектам, в которых учет источников/поглотителей парниковых газов выполняется с высокой степенью неопределенности, диапазон варьирования оценок для лесов таких обширных территорий и разнообразных по своему продукционному потенциалу как Россия, будет оставаться достаточно высоким.

Несмотря на большие расхождения в методах и результатах расчетов поглощения/эмиссий CO_2 в лесах России, общий итог оценки сводится к тому, что сток углерода в леса настоящее время сохраняется на высоком уровне по сравнению с базовым, согласно климатическим соглашениям 1990 г. Учитывая значительный вклад лесов России в поддержание углеродного баланса планеты, исследования, направленные на объективную оценку потенциала лесов по сокращению антропогенных выбросов ПГ, необходимо продолжать для согласования (сближения) методических подходов и снижения неопределенности результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Замолодчиков Д., Грабовский В., Курц В.* Управление балансом углерода лесов России: прошлое, настоящее, будущее // Устойчивое лесопользование. 2014. № 2 (39). С. 23–31.
2. *Малышева Н.В., Золина Т.А., Дедова В.Ю.* Оценка накопления углерода лесами России: геопространственный аспект // Интеркарто/ИнтерГИС 23. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата: Материалы Междунар. конф. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2017. Т. 1. С. 373–382. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-373-382.
3. Методика учета поглощения CO_2 в лесах Российской Федерации / А.А. Мартынюк, А.Н. Филипчук, Б.Н. Моисеев, Н.В. Малышева, В.В. Страхов, Т.А. Золина, А.Н. Югов, М.М. Паленова. Пушкино: ВНИИЛМ, 2017. 82 с.
4. 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.
5. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. ЗИЗЛХ. М.: МГЭИК ВМО, 2006. Т. 4. (русск. перевод). 93 с.
6. *Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Малышева Н.В.* Методика учета поглощения CO_2 лесами России // Материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. «Леса России: политика, промышленность, наука, образование» 24–26 мая 2017 г. Санкт-Петербург / Под. ред. В.М. Гедьо. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. Т. 2. С. 155–158.
7. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г.* Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.
8. *Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchebakova N., Chen T., van der Molen M.K., Belelli Marchesini L., Maximov T.C., Maksyutov S. and Schulze E.-D.* An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods. *Biogeosciences.* 2012. V. 9. P. 5323–5340. https://doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012, 2012
9. *Forsell N., Turkovska O., Gusti M., Obersteiner M., den Elzen M., Havlik P.* Assessing the INDCs' land use, land use change, and forest emission projections. Carbon Balance and Management. 2016. 11 (26). P. 1–17. DOI:10.1186/s13021-016-0068-3.
10. *Krug J.* Accounting of GHG emissions and removals from forest management: long road from Kyoto to Paris. Carbon Balance and Management. 2018. P. 1–13. https://doi.org/10.1186/s13021-017-0089-6
11. *Kudeyarov V.N.* The role of soils in the carbon cycle. Euras. Soil Sci. 2005. V. 27. P. 246–250.
12. *Pan Y., Birdsey R., Fang J., Houghton R., Kauppi P., Kurz W., Phillips O., Shvidenko A. et al.* A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science.* 2011. V. 333. P. 988–993.
13. *Schepaschenko D.G., Shvidenko A.Z., Lesiv M.Yu. Ontikov P.V., Schepaschenko M.V., Kraxner F.* Estimation of forest area and its dynamics based on synthesis of remote sensing products. Contemporary Problems of Ecology. 2015. V. 8, No 7. P. 811–817. DOI: 10.1134/S1995425515070136.

REFERENCES

1. *Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchebakova N., Chen T., van der Molen M.K., Belelli Marchesini L., Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.-D.* An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods. Biogeosciences. 2012. V. 9. P. 5323–5340. web resource: https://doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012, accessed 25.04.2018.

2. *Filipchuk A.N., Moiseev B.N., Malysheva N.V.* The methodology of accounting the CO_2 absorption in the Russian forests. Materialy 2-oj mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie» 24–26 maya 2017. Sankt-Peterburg, 2017. V. 2. P. 155–158 (in Russian).

3. *Forsell N., Turkovska O., Gusti M., Obersteiner M., den Elzen M., Havlik P.* Assessing the INDCs' land use, land use change, and forest emission projections. Carbon Balance and Management. 2016. No 11(26). P. 1–17. DOI: 10.1186/s13021-016-0068-3.

4. Good Practice Guidance for land, land use change and forestry. IPCC. 2003. 590 p. web resource: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_contents.html, accessed 25.04.2018.

5. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC. 2006. V. 4. 83 p. web resource: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf, accessed 25.04.2018.

6. *Krug J.* Accounting of GHG emissions and removals from forest management: long road from Kyoto to Paris. Carbon Balance and Management. 2018. P. 1–13. web resource: https://doi.org/10.1186/s13021-017-0089-6, accessed 25.04.2018.

7. *Kudeyarov V.N.* The role of soils in the carbon cycle. Euras. Soil Sci. 2005. V. 27. P. 246–250.

8. *Malysheva N.V., Zolina T.A., Dedova V.Yu.* Estimation of carbon sequestration by the Russian forests: geospatial issue. InterCarto/InterGIS 23. GIS support of sustainable development of territories in conditions of global climate change. Proc. of the International Conference. 2017. V. 1. P. 373–382 (in Russian). DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-373-382.

9. *Martynyuk A.A., Filipchuk A.N., Moiseev B.N., Malysheva N.V., Strahov V.V., Zolina T.A., Yugov A.N., Palenova M.* The methodology of counting the CO_2 absorbed by the forests of the Russian Federation. Pushkino: VNIILM, 2017. 83 p. (in Russian).

10. *Pan Y., Birdsey R., Fang J., Houghton R., Kauppi P., Kurz W., Phillips O., Shvidenko A. et al.* A large and persistent carbon sink in the world's forests. Science, 2011. V. 333. P. 988–993.

11. *Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G.* The carbon budget of Russian forests. Sibirskii lesnoi zhurnal. 2014. No 1. P. 69–92 (in Russian).

12. *Schepaschenko D.G., Shvidenko A.Z., Lesiv M.Yu. Ontikov P.V., Schepaschenko M.V., Kraxner F.* Estimation of forest area and its dynamics in Russia based on synthesis of remote sensing products. Contemporary Problems of Ecology. 2015. V. 8, No 7. P. 811–817. DOI: 10.1134/S1995425515070136.

13. *Zamolodchikov D., Grabovskii V., Kurts V.* Carbon balance management of Russian forests: Past, Present and Future. Ustoichivoe lesopol'zovanie. 2014. No 2(39). P. 23–31 (in Russian).