

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.05
УДК 630.907.3:528.94

Геоинформационная поддержка оценки бюджета углерода лесных экосистем

Н. В. Малышева

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства
и механизации лесного хозяйства, заместитель заведующего отделом,
кандидат географических наук,
Пушкино, Московская обл., Российская Федерация,
nat-malysheva@yandex.ru

Т. А. Золина

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства
и механизации лесного хозяйства, инженер 1-й категории,
Пушкино, Московская обл., Российская Федерация

На примере лесного района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Европейско-Уральской части России показана возможность использования инструментария ГИС для поддержки климатических исследований, связанных с оценкой экологического потенциала лесов по накоплению биогенного углерода.

Ключевые слова: депонирование углерода лесами, баланс углерода, экологический потенциал лесов, геоинформационные системы (ГИС), тематические карты лесов.

Для ссылок: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.05>
Малышева, Н. В. Геоинформационная поддержка оценки бюджета углерода лесных экосистем /
Н. В. Малышева, Т. А. Золина. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.05. – Текст : электронный // Лесохоз. информ. :
электронный сетевой журнал. – 2020. – № 1. – С. 48–56. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

Леса являются одним из наиболее распространенных и продуктивных типов наземных экосистем, вносящих значительный вклад в углеродный бюджет атмосферы. Длительный жизненный цикл основных лесообразующих пород и замедленный биологический круговорот веществ в лесных экосистемах бореального и умеренного пояса нашей страны способствуют накоплению углерода не только в фитомассе, но и в детрите, лесных почвах и торфе. Благодаря долговременному аккумулярованию углерода в лесных экосистемах достигается биосферный эффект, связанный с поглощением парниковых газов и предотвращением изменений климатической системы Земли.

Планирование и осуществление практических мер по противодействию и адаптации к изменению климата требует наличия адекватной информации об объекте, в частности, о запасах и потоках углерода в лесах. В последние два десятилетия оценке углеродного бюджета лесов посвящены десятки тысяч работ разных научных коллективов. Повышенное внимание к проблеме расчета углеродного бюджета в лесах России и годичного депонирования углерода основными типами лесных экосистем пока не привело к получению сопоставимых результатов. Численные оценки, полученные разными научными коллективами, значительно расходятся при высокой степени неопределенности. Несмотря на различие методических подходов и используемых информационных источников, все глобальные и региональные оценки получены расчетным путем и основаны на моделировании. Геоинформационная составляющая исследований, как правило, сводится к представлению результатов численных оценок на национальном, региональном или локальном уровнях, к их визуализации [1]. Известная группа канадских исследователей на начальном этапе, предвещающем модельные расчеты, использует ГИС для пространственного анализа данных с целью идентификации учетных единиц углеродного бюджета перед загрузкой в модель [2]. Группа ученых Института

прикладного системного анализа [3] обобщает доступную наземную и спутниковую информацию о земельном покрове, ландшафтах и экосистемах в ИЗИС (интегральной земельной информационной системе), обрабатывает и отбирает типологические единицы, подлежащие параметризации, которые включаются в последующем в расчеты полного углеродного бюджета.

Мы попытались так же системно и последовательно подойти к решению проблемы. Сначала в среде ГИС идентифицировали региональные типологические единицы оценки, затем перешли к пространственной локализации лесных экосистем и их характеристик и, в заключение, к представлению в картографической форме выполненных модельных расчетов годичного депонирования углерода и углеродного бюджета.

Цель нашего исследования – идентифицировать с помощью ГИС учетные единицы углеродного бюджета регионального уровня, оценить ресурсный и экологический потенциал лесов и представить результаты модельных расчетов депонирования углерода лесами и баланса углерода регионального уровня в картографической форме.

Согласно международным требованиям, подготовка ежегодного кадастра о выбросах из источников и абсорбции поглотителями CO₂ и других парниковых газов, их инвентаризация осуществляются по секторам экономики и категориям землепользования. Методология и методика ведения кадастра для сектора землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) и требования к учету выбросов и поглощения лесами парниковых газов изложены в Руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов¹. В наставлении, подготовленном группой международных экспертов МГЭИК, указано, что данные по сектору ЗИЗЛХ необходимо стратифицировать по географически обусловленным таксономическим единицам, для которых в итоге сформировать суммарную оценку депонирования углерода лесами и углеродного бюджета. Стратифицированными пространственными единицами служат таксоны

¹ <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

природного районирования. Качественные и количественные характеристики лесов, определяющие их углероддепонирующий потенциал, обусловлены приуроченностью к определенным лесорастительным условиям. Поэтому предварительно, до выполнения численных оценок, целесообразно осуществить стратификацию лесных экосистем по зонально-территориальным полигонам – лесорастительным зонам и лесным районам.

Нормативно-правовые документы, регламентирующие организацию ведения лесного хозяйства в Российской Федерации, предусматривают использование Перечня лесорастительных зон и лесных районов, утвержденных приказом Минприроды России от 23.12.2015 № 569 (в ред. от 21.03.2016 № 83, от 19.02.2019 № 105). При проведении исследований, инициированных Федеральным агентством лесного хозяйства Минприроды России, мы также придерживаемся этой системы лесорастительного районирования.

В среде ArcGIS подготовлена карта деления территории России на лесорастительные зоны и лесные районы, соответствующая нормативно-правовым документам Минприроды России. Созданная в программной среде ArcGIS цифровая основа с полигональным слоем лесорастительных зон и 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 42 лесных района. На рис. 1 приведена карта лесных районов России, которая использована в последующем для региональной оценки потенциала лесов по депонированию углерода. Стратификация лесов по зонально-территориальным полигонам по субъектам Российской Федерации и, по возможности, на уровне лесничеств в пределах субъекта Российской Федерации, существенно снижает неопределенность оценок поглощения C–CO₂ лесами. Выбор параметров для пересчета запаса стволовой древесины в надземную фитомассу

для основных древесных пород и групп возраста осуществляется с помощью коэффициентов, дифференцированных по зонально-территориальным полигонам. Таким образом, с помощью инструментария ГИС идентифицированы региональные единицы оценки депонирования углерода лесами, соответствующие современному варианту лесорастительного районирования.

Объекты и методика

Апробация геоинформационной поддержки исследований депонирования углерода лесами и расчетов углеродного бюджета выполнена на примере лесного района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Европейско-Уральской части России (ЕУЧР). Лесные экосистемы в границах этой стратифицированной географической единицы – объект наших исследований.

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» по существу отвечает термин «покрытые лесом земли», а земли, временно утратившие лесной покров, относят к «не покрытым лесом землям». Эти две категории в совокупности образуют «лесные земли», соответствующие категории «лес» в международных методических документах². На предварительном этапе нами детализированы учетные единицы углеродного бюджета регионального уровня и пространственно локализованы полигоны лесных земель в границах объекта исследований.

В сети Интернет выложены несколько карт мира с границами лесов и различным тематическим содержанием, которые составлены по данным дистанционного зондирования в последние годы. К наиболее известным относятся тематические карты лесов, подготовленные ФАО ООН³, научным коллективом из Университета Мэриленда

² <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

³ <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>



Рис. 1. Лесные районы Российской Федерации

1. Притундровых лесов и редкостойной тайги Европейско-Уральской части РФ; 2. Северо-таежный район европейской части РФ; 3. Карельский северо-таежный; 4. Карельский таежный; 5. Двинско-Вычегодский таежный; 6. Балтийско-Белозерский таежный; 7. Южно-таежный район европейской части РФ; 8. Хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части РФ; 9. Лесостепной район европейской части РФ; 10. Степей европейской части РФ; 11. Полупустынь и пустынь европейской части РФ; 12. Северо-Кавказский горный; 13. Крымский горный; 14. Северо-Уральский таежный; 15. Западно-Уральский таежный; 16. Средне-Уральский таежный; 17. Южно-Уральский лесостепной; 18. Западно-Сибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги; 19. Западно-Сибирский северо-таежный равнинных лесов; 20. Западно-Сибирский средне-таежный равнинных лесов; 21. Западно-Сибирский южно-таежный равнинный; 22. Западно-Сибирский подтаежно-лесостепной; 23. Среднесибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги; 24. Среднесибирский плоскогорный таежный; 25. Нижнеангарский таежный; 26. Среднеангарский таежный; 27. Среднесибирский подтаежно-лесостепной район; 28. Алтай-Саянский горно-таежный; 29. Алтай-Саянский горно-лесостепной; 30. Восточно-Сибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги; 31. Восточно-Сибирский таежный мерзлотный; 32. Верхнеленский таежный; 33. Байкальский горный лесной; 34. Забайкальский горномерзлотный; 35. Забайкальский горный лесной; 36. Забайкальский лесостепной; 37. Дальневосточный район притундровых лесов и редкостойной тайги; 38. Камчатский таежный; 39. Дальневосточный таежный; 40. Приамурско-Приморский хвойно-широколиственных лесов; 41. Дальневосточный лесостепной; 42. Алтай-Новосибирский район лесостепей и ленточных боров; без номера – нелесные земли. Выделен объект исследования- зона хвойно-широколиственных(смешанных) лесов ЕУЧР

(США)⁴, гибридная карта, скомпилированная из всех упомянутых источников группой исследователей Института прикладного системного анализа – IIASA (Австрия) [4].

Для пространственного представления лесотаксационных характеристик, входных параметров для расчетов депонирования углерода и углеродного бюджета в границах лесных земель выполнено преобразование карты лесов

Российской Федерации, дифференцированных по преобладающим группам древесных пород и сомкнутости древесного полога [5]. Карта подготовлена по результатам дешифрирования космических снимков MODIS с пространственным разрешением 250 м в видимом диапазоне электромагнитного спектра, имеет географическую привязку и размещена в открытом доступе в растровых форматах (TIFF и ArcInfo GRID).

⁴ <http://earthenginepartners.appspot.com/google.com/science-2013-global-forest>

Выполнена векторизация раstra с подразделением площадных объектов (полигонов) на две группы: лесные и нелесные земли. Полученная пространственная основа (базовая карта) в последующем использована для дифференциации экосистем лесного района по обобщенным лесотаксационным данным, которые необходимы для подсчета углеродного бюджета, визуализации численных оценок депонированного лесами углерода, т.е. дополнения расчетов пространственным аспектом представления исходных данных и полученных результатов.

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. 10.03.2009). Национальная отчетность по сектору ЗИЗЛХ, как и оценки углеродного бюджета, выполненные для национального и регионального уровней подавляющим большинством научных коллективов, основаны на использовании материалов учета лесов России – данных государственного лесного реестра (ГЛР) или, до введения лесного законодательства в действие с 01.01.2007, данных государственного учета лесного фонда (ГУЛФ). Для экспериментальных работ по оценке депонирования углерода лесами и углеродного бюджета в границах объекта исследований нами использованы данные ГЛР на 01.01.2016 на уровне лесничеств (территориальных единиц управления лесами).

Методика оценки годичного депонирования углерода лесными экосистемами в границах лесного района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов исходит из наставлений, разработанных группой экспертов МГЭИК⁵. Для оценки годичного депонирования углерода лесными экосистемами использовано уравнение расчета по среднегодовому приращению запаса древесины с пересчетом в фитомассу и последующим вычислением чистой экосистемной (NEP) и чистой биомной (NBP) продукции. Расчеты проведены по методике, изложенной в работе [6].

Результаты и обсуждение

Проведен анализ основных характеристик объекта исследований, существенных для оценки потенциала лесов по депонированию углерода. Основными характеристиками ресурсного и экологического потенциала служат породный состав лесов, возрастная структура, средние запасы стволовой древесины. Продуктивность древостоев напрямую зависит от степени богатства лесорастительных условий, которые характеризует класс бонитета насаждения. Показатель средний годичный прирост, т.е. скорость накопления запаса древесины определенной группой пород (древесной породой) за конкретный период времени, или приращение запаса древесины за год, характеризует производительность лесов.

Разработаны тематические карты с пространственным представлением характеристик ресурсного и экологического потенциала лесов: преобладающих древесных пород в границах учетных единиц, распределения основных преобладающих групп пород (хвойных, мягколиственных, твердолиственных) по группам возраста, среднего возраста насаждений, преобладающих классов бонитета основных групп пород, преобладающих средних запасов древесины основных групп пород, средних годичных приростов древесины основных групп пород и т.д. Все ресурсно-экологические показатели локализованы в границах полигонов лесных земель – учетных единиц углеродного бюджета лесов. Показатели изображены на картах способом уточненной картограммы. Карты составлены в программной среде ArcGIS for Desktop.

Хвойно-широколиственные (смешанные) леса Европейско-Уральской части России являются одними из наиболее производительных в стране. Общий запас древесины в лесах объекта исследований составляет $4,7 \pm 0,16$ млрд м³ при запасае древесины на 1 га покрытых лесом земель 169 ± 23 м³/га, тогда как в среднем по стране он равен 104 м³/га⁶. В зоне хвойно-широколиственных

⁵ <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>

⁶ <http://oldsite1.zapoved.ru/regulatory/detail.php?ID=254471>

лесов одни из наиболее высоких по стране и показатели продуктивности. Общий средний прирост запаса древесины составляет $94,7 \pm 3,3$ млн м^3 /год, а годичный прирост на единицу площади (1 га) в среднем – $3,4 \pm 0,41$ м^3 /га/год. Для справки, средний прирост запаса древесины на землях лесного фонда России не превышает $1,3$ м^3 /га/год [7]. Наибольший средний годичный прирост запаса по состоянию на 01.01.2016 г. отмечен в Калининградской, Брянской, Тульской областях – более 4 м^3 /га/год.

Исходя из величины общего среднего прироста запаса древесины по данным государственного лесного реестра (ГЛР) на 01.01.2016 рассчитаны показатели годичного накопления углерода экосистемами (NEP) по лесничествам, приуроченным к зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов, и чистого поглощения углерода биомассой лесов (NBP). Выполненные работы проиллюстрированы рис. 2 и 3.

Карты дают представление о величине годичного депонирования углерода (NEP) в биомассе разных типов лесных экосистем зоны хвойно-широколиственных лесов ЕУЧР и пространственном его распределении, а также об углеродном балансе лесов региона (NBP). Установлено, что наибольшие средние значения чистой биомной продукции (NBP) на единицу площади (1 га) в год – показателя, характеризующего поглощение углерода за вычетом потерь, – приходится на леса Калининградской (Нестеровское лесничество), Смоленской, Калужской областей и Республики Мордовия (Вышинское, Темниковское лесничества и Мордовский заповедник) – более $2,0$ т С/га/год. В среднем чистое годичное поглощение углерода биомассой в зоне хвойно-широколиственных лесов (NBP) на единицу площади на 01.01.2016 составляет $1,7 \pm 0,24$ т С/га/год.

Расчеты годичного депонирования и суммарные оценки потоков углерода в экосистемах

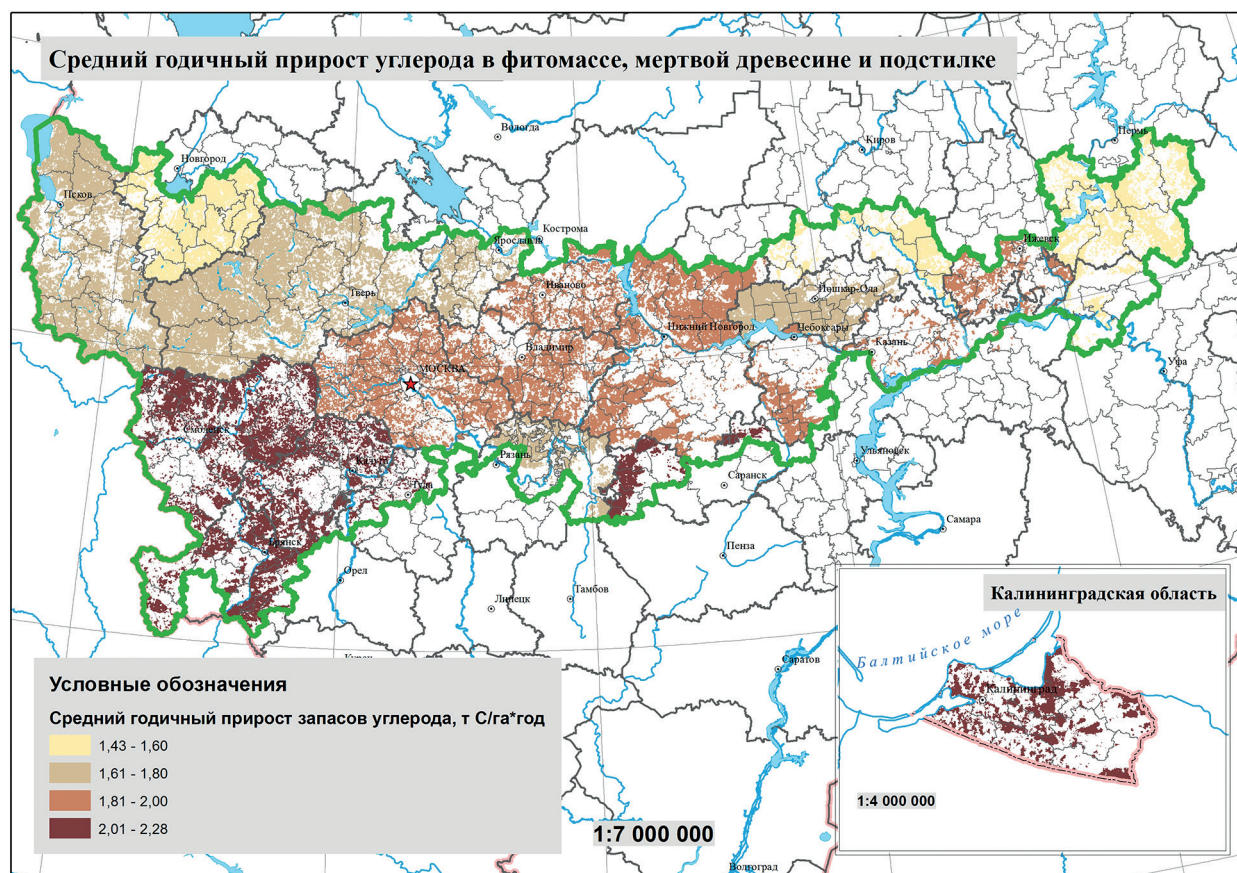


Рис. 2. Годичная абсорбция углерода в биомассе лесов хвойно-широколиственной зоны ЕУЧР (на 01.01.2016)

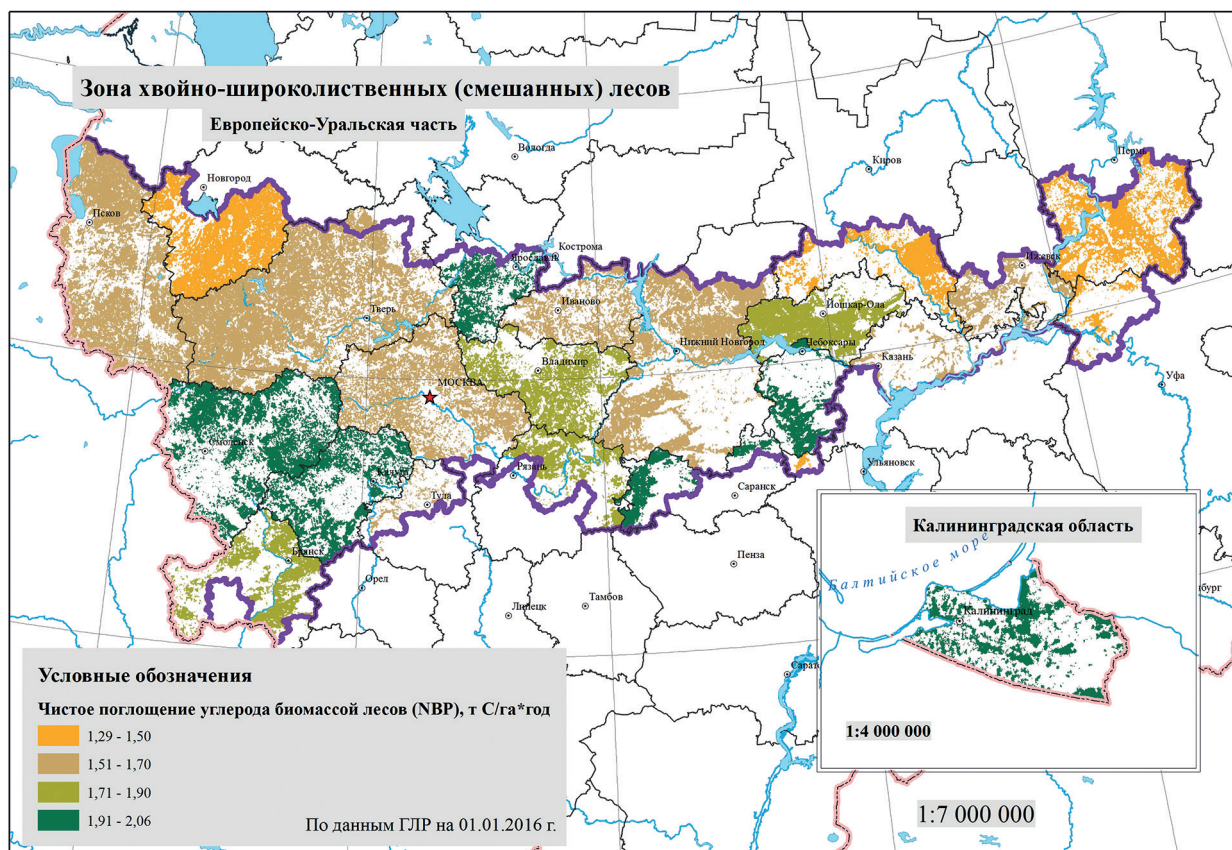


Рис. 3. Чистое годовое поглощение углерода биомассой лесов хвойно-широколиственной зоны ЕУЧР (на 01.01.2016)

хвойно-широколиственных (смешанных) лесов ЕУЧР, выполненные нами, аналогичны численным оценкам показателей для лесов этой же территории, сделанным авторитетным научным коллективом Института прикладного системного анализа – ИААСА [3]. Расхождения оценок находятся в пределах стандартных ошибок расчетов.

Выводы

С помощью инструментария ГИС идентифицированы учетные единицы углеродного бюджета лесов регионального уровня. На примере зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Европейско-Уральской части России выполнена оценка ресурсного и экологического потенциала лесов и дано территориально-пространственное представление результатов модельных расчетов депонирования углерода и баланса углерода

регионального уровня в картографической форме. Карты дополняют анализ экологического потенциала лесов по сокращению эмиссий углекислого газа в атмосферу и модельные оценки территориально-пространственным аспектом.

Возможности ГИС для поддержки климатических исследований, связанных с оценкой экологического потенциала лесов, пока не реализованы в полной мере. Углерододепонирующий потенциал лесов рассматривается как один из экосистемных сервисов в контексте глобальных климатических изменений. Это направление исследований относится к наиболее популярным и активно развивающимся международным научным сообществам. Экосистемные услуги лесов, прежде всего связанные со смягчением климатических изменений, в ближайшем будущем могут приобрести даже большую значимость, чем их ресурсный потенциал, ориентированный на удовлетворение потребностей в древесном сырье и иной недревесной продукции.

Список использованных источников

1. Замолодчиков, Д. Управление балансом углерода лесов России: прошлое, настоящее, будущее / Д. Замолодчиков, В. Грабовский, В. Курц // Устойчивое лесопользование. – 2014. – № 2 (39). – С. 23–31.
2. 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 [etc.] // Ecological Modelling. – 2009. – 220. – Р. 480–504. – doi:10.111016/j.ecolmodel.2008.10.018
3. Швиденко, А.З. Углеродный бюджет лесов России / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 1. – С. 69–92.
4. Estimation of Forest Area and its Dynamics in Russia Based on Synthesis of Remote Sensing Products // D.G. Schepaschenko, A. Z. Shvidenko, M. Yu. Lesiv, P.V. Ontikov, M.V. Schepaschenko, F. Kraxner // Contemporary Problems of Ecology. – 2015. – Vol. 8. – № 7. – doi:10.1134/S1995425515070136
5. Карта лесов Российской Федерации. Масштаб 1: 14 000 000 / С.А. Барталев, Д.В. Ершов, А.С. Исаев, П.В. Потапов, С.А. Турубанова, А.Ю. Ярошенко. – Текст : электронный. – М., 2004. – <http://www.forestforum.ru/gis.php>
6. Методика учёта поглощения CO₂ в лесах Российской Федерации / А.А. Мартынюк, А.Н. Филипчук, Б.Н. Моисеев, Н.В. Малышева, В.В. Страхов, Т.А. Золина [и др.]. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2017. – 82 с.
7. Картографическое сопровождение государственного доклада о состоянии и использовании лесов Российской Федерации // Н.В. Малышева, Т.А. Золина, Б.Н. Моисеев, П.С. Кинигопуло, А.Н. Югов. – Текст : электронный // Лесохоз. информ. : электронный сетевой журнал. – 2016. – № 2. – С. 27–41. – URL: <http://lhi.vniilm.ru>

References

1. Zamolodchikov, D. Upravlenie balansom ugleroda lesov Rossii: proshloe, nastoyashchee, budushchee / D. Zamolodchikov, V. Grabovskij, V. Kurc // Ustojchivoe lesopol'zovanie. – 2014. – № 2 (39). – С. 23–31.
2. CMS-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards / W.A. Kurz, S. S. Dymond, T.M. White, G. Stinson, S. N. Shaw, G. J. Rampley, S. Smith [etc.] // Ecological Modelling. – 2009. – 220. – Р. 480–504. – doi:10.111016/j.ecolmodel.2008.10.018
3. Shvidenko, A. Z. Uglerodny byudzheth lesov Rossii / A. Z. Shvidenko, D. G. Shchepashchenko // Sibirskij lesnoj zhurnal. – 2014. – № 1. – С. 69–92.
4. Estimation of Forest Area and its Dynamics in Russia Based on Synthesis of Remote Sensing Products // D.G. Schepaschenko, A. Z. Shvidenko, M. Yu. Lesiv, P.V. Ontikov, M.V. Schepaschenko, F. Kraxner // Contemporary Problems of Ecology. – 2015. – Vol. 8. – № 7. – doi:10.1134/S1995425515070136
5. Karta lesov Rossijskoj Federacii. Masshtab 1: 14 000 000 / S. A. Bartalev, D. V. Ershov, A. S. Isaev, P. V. Potapov, S. A. Turubanova, A. Yu. Yaroshenko. – Tekst : elektronnyj. – M., 2004. – <http://www.forestforum.ru/gis.php>
6. Metodika uchyota pogloshcheniya SO₂ v lesah Rossijskoj Federacii / A. A. Martynyuk, A. N. Filipchuk, B. N. Moiseev, N. V. Malysheva, V. V. Strahov, T. A. Zolina [i dr.]. – Pushkino : VNIILM, 2017. – 82 s.
7. Kartograficheskoe soprovozhdenie gosudarstvennogo doklada o sostoyanii i ispol'zovanii lesov Rossijskoj Federacii // N. V. Malysheva, T. A. Zolina, B. N. Moiseev, P. S. Kinigopulo, A. N. Yugov. – Tekst : elektronnyj. // Lesohozayajstvennaya informaciya : elektronnyj setевой zhurnal. – 2016. – № 2. – С. 27–41. – URL: <http://lhi.vniilm.ru>

GIS Support for the Carbon Budget Assessments of the Forest Ecosystems

N. Malysheva

*Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry,
Deputy Head of the Department, Candidate of Geographical Sciences,
Pushkino, Moscow region, Russian Federation,
nat-malysheva@yandex.ru*

T. Zolina

*Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry,
1st Category Engineer,
Pushkino, Moscow region, Russian Federation*

Key words: carbon sequestration by forests, forests ecosystem services, carbon budget, GIS, thematic maps.

The possibility of using GIS tools to support climate research related to the assessment of the environmental potential of forests to store biogenic carbon is shown by the example of the forest area of coniferous-broadleaved (mixed) forests of the European-Ural region of Russia. GIS tools allowed for identification of carbon budget accounting units of regional and local levels. With the help of ArcGIS software, a map of the division of the Russian territory into forest zones and forest areas with homogeneous site specific conditions in accordance with the regulatory documents of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation has been prepared. Territorial and spatial representation of forest taxation characteristics – input parameters of model calculations of carbon deposition and carbon budget within the forest lands of the research object – is considered. The maps of ecology and resource potential of the forest area's ecosystems were made by ArcGIS software. The indicators of the annual carbon accumulation by ecosystems (NEP) over the forest management units dedicated to the zone of coniferous-broadleaved (mixed) forests of the European-Ural part of Russia and the carbon budget (NBP) were calculated with data of the State Forest Register (SFR) as of 01.01.2016. The results of model calculations of carbon sequestration by coniferous-broadleaved (mixed) forests of the European-Ural part of Russia and carbon balance in the cartographic form are presented.