

Н.В. Малышева<sup>1</sup>, Т.А. Золина<sup>2</sup>

## КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОЦЕНКИ БЮДЖЕТА УГЛЕРОДА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

**Резюме.** Рассмотрено территориально-пространственное представление экологического потенциала лесов по сокращению эмиссий углекислого газа в атмосферу. С помощью инструментария ГИС выполнена идентификация учетных единиц углеродного бюджета лесов регионального и локального уровней. В среде ArcGIS составлены карты эколого-ресурсного потенциала лесов, оценки годового депонирования углерода лесными экосистемами и углеродного бюджета лесов региона. Исследования проведены на примере лесных экосистем зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Европейско-Уральской части России.

**Ключевые слова:** депонирование углерода лесами, баланс углерода, экологический потенциал лесов, ГИС, тематические карты лесов.

**Введение.** Леса являются одним из наиболее распространенных и продуктивных типов наземных экосистем, вносящих значительный вклад в углеродный бюджет атмосферы. По масштабам поглощения углерода и, особенно, по размерам его длительного аккумуляирования, леса признаются наиболее надежной системой предотвращения парникового эффекта. Длительный жизненный цикл основных лесообразующих пород и замедленный биологический круговорот веществ в экосистемах бореального и умеренного пояса нашей страны способствуют накоплению углерода не только в фитомассе лесов, но и в детрите, гумусе лесных почв и торфе. Благодаря долговременному аккумуляированию запасенного 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 годового 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 [Замолотчиков, 2014; Швиденко, 2014]. Известная группа канадских исследователей на начальном этапе, предворяющем модельные расчеты, использует ГИС для пространственного анализа данных с целью идентификации учетных единиц перед загрузкой в модель [Kurz, 2009]. Мы попытались также системно и последовательно подойти к решению проблемы. Сначала идентифицировали региональные единицы оценки с помощью ГИС, затем перешли к пространственной локализации лесных экосистем и их характеристик и, в заключение, к представлению в картографической форме выполненных модельных расчетов годового депонирования углерода и углеродного бюджета.

---

<sup>1</sup> Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ФБУ ВНИИЛМ), Пушкино, Московской области, 141200, Россия, вед. научн. сотр., канд. геогр. н.; e-mail:nat-malysheva@yandex.ru.

<sup>2</sup> Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ФБУ ВНИИЛМ), Пушкино, Московской области, 141200, Россия, ст. научн. сотр.; e-mail:tzolina@gmail.com.

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 CO<sub>2</sub> и других парниковых газов, их инвентаризация, осуществляется по секторам экономики и категориям землепользования. Методология и методика ведения национальной отчетности для сектора землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) и требования учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов изложены в «Руководящих указаниях по эффективной практике для землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства» [[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_files/Chp3/Chp3\\_2\\_Forest\\_Land.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Chp3/Chp3_2_Forest_Land.pdf)] и соответствующих дополнениях к ним [IPCC Guidelines..., 2006]. В наставлениях, подготовленных группой международных экспертов МГЭИК ООН, 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 природного районирования. Качественные и количественные характеристики лесов, обуславливающие их углерододепонирующий потенциал, связаны с их местопроизрастанием, приуроченностью к определенным лесорастительным условиям. Поэтому предварительно до выполнения оценки и расчетов целесообразно осуществить стратификацию лесных экосистем по лесорастительным зонам и лесным районам. Нормативно-правовые документы, регламентирующие организацию ведения лесного хозяйства в РФ, предусматривают использование перечня лесорастительных зон и лесных районов, утвержденных Приказом Минприроды РФ 23.12.2015 №569 (в ред. от 21.03.16 №83). При проведении исследований, инициированных Федеральным агентством лесного хозяйства Минприроды РФ, мы также придерживаемся этой системы лесорастительного районирования. 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.

**Материалы и методы исследований.** Для подготовки пространственного деления территории России на «географически обусловленные таксономические единицы» нами создана цифровая основа с полигональным слоем лесорастительных зон и лесных районов в программной среде ArcGIS. На сегодня перечень лесорастительных зон и лесных районов, согласно отраслевым нормативно-правовым документам, включает 8 лесорастительных зон и 41 лесной район. Таким образом, с помощью инструментария ГИС идентифицированы региональные единицы учета депонирования углерода лесами и баланса углерода.

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 сущности отвечает термин «покрытые лесом земли», а земли, временно утратившие лесной покров, относят к «непокрытым лесом землям». Эти две категории в совокупности образуют «лесные земли», соответствующие категории «лес» в международных документах [IPCC Guidelines..., 2006]. 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 ООН [<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>], научным коллективом из Университета

Мэриленда, США [<http://earthenginepartners.appspot.com/google.com/science-2013-global-forest>], гибридная карта, скомпилированная из всех упомянутых источников группой исследователей Института прикладного системного анализа (IIASA), Австрия [Schepaschenko, 2015].

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 [Барталев и др., 2004]. 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). Выполнена векторизация растра 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 от 01.03.2006 № 278-р (в ред. 10.03.2009). Национальная отчетность по сектору ЗИЗЛХ, так же как и оценки углеродного бюджета, сделанные для национального и регионального уровней подавляющим большинством научных коллективов, основаны на использовании материалов учета лесов России – данных государственного лесного реестра (ГЛР) или, до введения в действие лесного законодательства в 2007 г., – данных государственного учета лесного фонда (ГУЛФ). Для экспериментальных работ по оценке депонирования углерода лесами и углеродного бюджета в границах объекта исследований нами использованы данные ГЛР за 2014 г. на уровне лесничеств (территориальных единиц управления лесами).

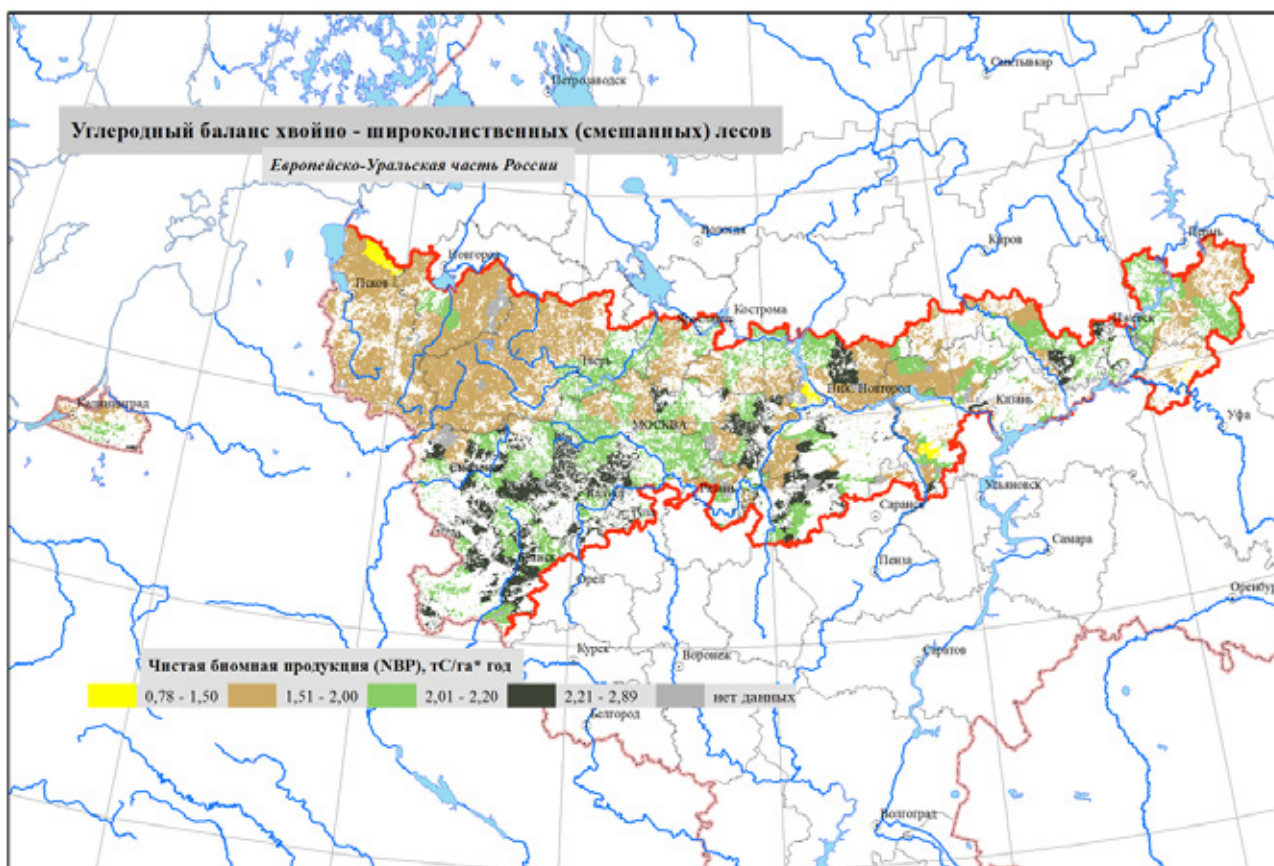
Методика оценки годичного депонирования углерода лесными экосистемами в границах лесного района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов исходит из наставлений, разработанных группой экспертов МГЭИК ООН [<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>]. Для оценки годичного депонирования углерода лесными экосистемами использовано уравнение расчета по среднегодовому приращению (приросту) запаса древесины с пересчетом в фитомассу и последующим вычислением чистой экосистемной (NEP) и чистой биомной продукции (NBP). Расчеты проведены Б.Н. Моисеевым по методике, изложенной в работе [Моисеев, 2009].

**Результаты исследований и их 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 группы пород (древесной породы) за определенный период времени или приращение запаса древесины за год, характеризует производительность лесов.

Разработаны тематические карты с пространственным представлением характеристик ресурсного и экологического потенциала лесов: пространственной представленности преобладающих древесных пород в границах учетных единиц, распределения основных преобладающих групп пород (хвойных, мягколиственных, твердолиственных) по группам возраста, среднего возраста насаждений, преобладающих бонитетов 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 наиболее производительными в стране. Общий запас древесины в лесах объекта исследований составляет  $4,7 \pm 0,16$  млрд.  $\text{м}^3$  при запасе древесины на 1 га покрытых лесом земель  $169 \pm 23$   $\text{м}^3/\text{га}$ , тогда как в среднем по стране он равен  $104$   $\text{м}^3$ . В зоне хвойно-широколиственных лесов наиболее высокие по стране и показатели продуктивности. Общий средний прирост запаса древесины составляет  $94,7 \pm 3,3$  млн  $\text{м}^3/\text{год}$ , а его относительная величина – годичный прирост на единицу площади (1 га) в среднем составляет  $3,4 \pm 0,41$   $\text{м}^3/\text{га} \cdot \text{год}$ . Для справки, средний прирост запаса древесины в лесном фонде России не превышает  $1,3$   $\text{м}^3/\text{га} \cdot \text{год}$ . Наибольший годичный прирост запаса отмечен в Калининградской, Брянской, Тульской областях – более  $4$   $\text{м}^3/\text{га} \cdot \text{год}$ .

Исходя из величины общего среднего прироста запаса древесины по данным государственного лесного реестра (ГЛР) за 2014 г. рассчитаны показатели годичного накопления углерода экосистемами (NEP) по лесничествам, приуроченным к зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов и углеродного бюджета (NBP). Выполненные работы проиллюстрированы рисунком. Карты дают представление о величине годичного депонирования углерода (NEP) разными типами лесных экосистем зоны хвойно-широколиственных лесов ЕУЧР и пространственном его распределении, а также об углеродном бюджете лесов региона (NBP). Установлено, что наибольшие средние значения чистой экосистемной (NEP) и чистой биомной продукции (NBP) на единицу площади (1 га) в год, приходятся на леса Калининградской (Нестеровское лесничество), Смоленской (Демидовское, Шумячское), Брянской (Дубровское) Тульской (Белевское, Тульское, Одоевское лесничества) областей и Республики Мордовия (Вышинское и Темниковское лесничества).



**Рис. 1.** Углеродный баланс хвойно-широколиственных (смешанных) лесов

Расчеты годичного депонирования и суммарные оценки потоков углерода в экосистемах хвойно-широколиственных (смешанных) лесов ЕУЧР, выполненные нами, схожи с численными оценками показателей для лесов этой же территории, сделанными авторитетным

научным коллективом ИАASA [Швиденко, 2014]. Расхождения оценок находятся в пределах стандартных ошибок расчетов.

**Выводы.** С помощью ГИС идентифицированы учетные единицы углеродного бюджета лесов регионального уровня. На примере зоны хвойно-широколиственных (смешанных) лесов выполнена оценка ресурсного и экологического потенциала лесов и дано территориально-пространственное представление результатов модельных расчетов депонирования углерода и баланса углерода регионального уровня. 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 развивающимся международным научным сообществом. Экосистемные услуги лесов, прежде всего связанные с преодолением последствий 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.

**Благодарности.** Исследование выполнено в рамках государственного задания Федеральному бюджетному учреждению «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ФБУ ВНИИЛМ), утвержденного приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 26.12.2014 № 507.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барталев С.А., Еришов Д.В., Исаев А.С., Потапов П.В., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю.* Карта лесов Российской Федерации. Масштаб 1: 14.000.000. М., 2004, <http://www.forestforum.ru/gis.php>.
2. *Замолодчиков Д., Грабовский В., Куриц В.* Управление балансом углерода лесов России: прошлое, настоящее, будущее. – Устойчивое лесопользование, 2014. № 2 (39). С. 23–31.
3. 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.
4. *Моисеев Б.Н., Филипчук А.Н.* Методика МГЭИК для расчета годичного депонирования углерода и оценка ее применения для лесов России – Лесн. хоз-во, 2009, № 4. С. 11–13.
5. *Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г.* Углеродный бюджет лесов России. – Сибирский лесной журнал, 2014. № 1. С. 69–92.
6. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006). Available at: <http://www.ipcc-nggip>.
7. *Kurz W.A., Dymond C.C., White T.M., Stinson G., Shaw C.H., Rampley G.J., Smith C., Simpson B.N., Nielson E.T., Trofimow J.A., Metsaranta J., Apps M.J.* CMS-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards. – Ecological Modelling 2009, 220, pp.480-504. doi:10.111016/j.ecolmodel.2008.10.018.
8. *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, Vol. 8, No 7, doi: 10.1134/S1995425515070136.
9. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml).
10. (<http://earthenginepartners.appspot.com/google.com/science-2013-global-forest>).
11. <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>.

## CARTOGRAPHIC SUPPORT THE CARBON BUDGET ESTIMATIONS OF FOREST ECOSYSTEMS

**Abstract.** *Forests are one of the most common and productive types of terrestrial ecosystems, with a significant contribution to the carbon budget of the atmosphere. Forests are recognized as the most reliable system to prevent the greenhouse effect, taking into consideration the scale of carbon sequestration and, especially, the long period of accumulation. Long life cycle of major forest tree species and the slow biological turnover of substances in ecosystems of the boreal and temperate zone contribute to the accumulation of carbon not only in forest biomass, but also in the detritus, humus forest soils and peat. Due to long term accumulation of stored carbon in forest ecosystems is achieved by the biosphere effect associated with the absorption of greenhouse gases and the prevention of changes in the climate system of the Earth.*

*The aim of our study was to identify the carbon budget units at the regional level by GIS, to assess the resource and ecological potential of forests and to map the results of model calculations of forest carbon sequestration and carbon balance at the regional level.*

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

**Acknowledgement.** The study was performed in the framework of the state assignment for the Federal Budget Institution «Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry»(FBU VNIILM) approved by Russian Federal Forestry Agency (order of the Federal forestry Agency of 26.12.2014 № 507).

### REFERENCES

1. Bartalev S.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Potapov P.V., Turubanova S.A., Jaroshenko A. Ju. Karta lesov Rossijskoj Federacii [Forest Map of the Russian Federation] Masshtab 1:14000000 [Scale 1:14000 000]. M., 2004, <http://www.forestforum.ru/gis.php> (in Russian).
2. 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).
3. *Rukovodiashchie ukazaniia po effektivnoi praktike dlia zemlepol'zovaniia, izmenenii v zemlepol'zovanii i lesnogo khoziaistva. Programma MGEIK po natsional'nym 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\\_files/Chp3/Chp3\\_2\\_Forest Land.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Chp3/Chp3_2_Forest Land.pdf).
4. 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).
5. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Uglerodnyi biudzheth lesov Rossii [The Carbon Budget of Russian Forests]. Sibirskii lesnoi zhurnal [Siberian Forest Journal], 2014. No. 1. Pp. 69–92 (in Russian).
6. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006). Available at: <http://www.ipcc-nggip>.

---

<sup>1</sup> Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (FBU VNIILM) Pushkino, Moscow region, 141200, Russia, leading researcher, PhD; e-mail: nat-malysheva@yandex.ru.

<sup>2</sup> Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (FBU VNIILM) Pushkino, Moscow region, 141200, Russia, senior researcher; e-mail: tzolina@gmail.com.

7. Kurz W.A., Dymond C.C., White T.M., Stinson G., Shaw C.H., Rampley G.J., Smith C., Simpson B.N., Nielson E.T., Trofimow J.A., Metsaranta J., Apps M.J. CMS-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards. – Ecological Modelling 2009, 220, pp. 480–504. doi:10.111016/j.ecolmodel.2008.10.018.

8. 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, Vol. 8, No 7, doi: 10.1134/S1995425515070136.

9. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml).

10. (<http://earthenginepartners.appspot.com/google.com/science-2013-global-forest>).

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

УДК 528.44

Ю.Ю. Яковенко<sup>1</sup>, Я.Г. Пошивайло<sup>2</sup>, А.М. Яковенко<sup>3</sup>

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЗОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО СЕМИПАЛАТИНСКОГО ЯДЕРНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

**Резюме.** В статье представлены результаты проведения радиоэкологической оценки загрязнения территории бывшего Семипалатинского ядерного испытательного полигона. Разработана методика радиоэкологического зонирования методами геоинформационного картографирования, включающая в себя определение количественных и качественных критериев для зонирования по степени поверхностного загрязнения почвенного покрова, подвергшегося техногенному радиационному воздействию.

В результате такого зонирования можно объективно оценить степень радиационного воздействия на обследованные территории, выявить участки с высоким радиационным фоном и четко определить их границы, представляющие потенциальный риск для населения, проживающего или ведущего хозяйственную деятельность на данных территориях.

**Ключевые слова:** ядерный полигон, зонирование, базовые параметры загрязнения, радиоэкологические исследования, уровни загрязнения.

**Введение.** Семипалатинский испытательный полигон (СИП) площадью около 18,4 тысячи квадратных километров расположен на территориях трех областей республики Казахстан – Восточно-Казахстанской (54%), Павлодарской (39%) и Карагандинской (7%). За время функционирования полигона (1949–1989 годы) на его территории было проведено 456 ядерных испытаний, в том числе атмосферные ядерные испытания и модельные эксперименты на площадке «Опытное поле», подземные испытания (в штольнях и скважинах) на площадках «Дегелен», «Балапан» и «Сары-узен».

---

<sup>1</sup> Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, 071100, Казахстан, ВКО, г. Курчатов, ул. Красноармейская 2, начальник лаборатории геоинформационных технологий, тел. 8 (72251) 2-58-63; e-mail: yak\_julia@mail.ru.

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383) 361-06-35; e-mail: yaroslava@ssga.ru.

<sup>3</sup> Институт геофизических исследований, 071100, Республики Казахстан, г. Курчатов, площадка Меридиан, Начальник лаборатории топогеодезических исследований, тел. 8 (72251) 2-31-46; e-mail: yakovenko@igr.kz.