

ОБНОВЛЕНИЕ КАРТЫ ПОТЕНЦИАЛА СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА ПАХОТНЫМИ ПОЧВАМИ МОСКОВСКОЙ И ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РОССТАТА*

Добровольская Валерия Андреевна¹, Мешалкина Юлия Львовна²,
Горбачева Анна Юрьевна³, Романенков Владимир Аркадьевич⁴

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, ф-т почвоведения
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
109028, Москва, Покровский бульвар, д. 11

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова
127434, Москва, ул. Прянишникова, д. 31а

¹ – аспирант каф. общего земледелия и агроэкологии; e-mail: gafiatulina.valeriya@mail.ru

² – к. с.-х. н., доц. каф. общего земледелия и агроэкологии; e-mail: jlmesh@list.ru

³ – к. б. н., н. с. ф-та географии и геоинформационных технологий Национального
исследовательского ун-та «Высшая школа экономики»; e-mail: aygorbacheva@hse.ru

⁴ – д. б. н., зав. каф. агрохимии и биохимии растений ф-та почвоведения МГУ имени
М.В. Ломоносова; гл. н. с. лаб. географической сети опытов ВНИИ агрохимии имени
Д.Н. Прянишникова; e-mail: geoset@yandex.ru

Для оценки секвестрационного потенциала пахотных почв России использовалась динамическая модель углерода RothC. В данной работе излагается новая методика подготовки блока входных данных, отвечающих за информацию о чистой первичной продукции (Net Primary Production – NPP). Предлагается переход от оценок, полученных по общедоступным ресурсам на основе среднемесячных температур и сумм осадков, к оценкам, рассчитанным по локальной статистике Базы данных муниципальных образований Росстата. Новый подход расчета поступления углерода в почву основывался на использовании данных о площадях и урожайности сельскохозяйственных культур с убранный площади. Результаты изложены на примере Тверской и Московской областей, и после применения нового подхода они показывают дифференциацию на уровне муниципальных образований с пространственным разрешением 1 км для верхнего слоя 0–30 см пахотных почв. Снижение NPP при переходе на статистические данные составляет в среднем 1,4 т С/га в год. По показателю абсолютной скорости секвестрации наблюдается сдвиг в сторону положительных значений в среднем на 0,2 т С/га в год для Московской области и 0,15 т С/га в год для Тверской области. При этом разброс значений между муниципалитетами увеличивается.

Ключевые слова: секвестрация углерода, карта GSOCseq, чистая первичная продукция.

Секвестрация углерода почвами традиционно относится к сектору мер по смягчению последствий изменения климата AFOLU (The Agriculture, Forestry and Other Land Use), охватывающему управляемые экосистемы [1]. Их объединяет цель

снижения концентрации парниковых газов при сохранении биоразнообразия, продуктивности и других экосистемных функций. Метод почвенной секвестрации входит в группу методов CDR (carbon dioxide removal), подразумевающих изъятие CO₂ из атмосферы и хранение углерода в геологических, наземных, океанических резервуарах или продуктах. Данный метод является одним из немногих широко применяемых наряду с облесением, лесовосстановлением, управлением лесами и агролесомелиорацией [1]. Согласно рекомендациям МГЭИК (Международной группы экспертов по изменению климата) по оценке и мониторингу баланса углерода и парниковых газов [2, 3], исполнители должны совершенствовать методологию отчетности, переходя на более высокий уровень от первого уровня оценки (экспертные

* Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

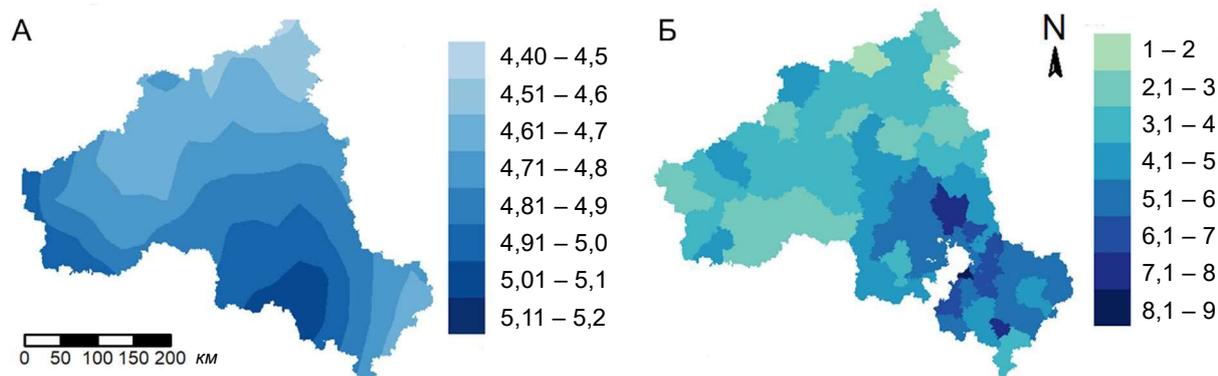


Рис. 1. Чистая первичная продукция Тверской и Московской областей (NPP, т С/га в год) по методике ФАО (А) и по статистическим данным (Б).

оценки) к третьему уровню оценки (создание национальной системы наблюдения и учета баланса углерода). Включение в модель независимых полевых данных относит такую оценку к третьему уровню точности. Предполагается, что детальное моделирование на региональном уровне может обеспечить предоставление более качественных отчетных материалов в МГЭИК [4].

Глобальное почвенное партнерство ФАО ООН в 2020 г. начало работу по созданию глобальной карты потенциала секвестрации углерода почвами сельхозугодий GSOCseq [5]. Первая версия интерактивной карты и соответствующая мировая статистика были представлены годом позже. Эта карта содержит прогноз годового прироста запасов углерода в почве пахотных земель (0–30 см слой) в т С/га в год [6].

Техническим руководством для прогноза потенциала секвестрации ФАО рекомендовала Ротамстедскую модель RothC [5]. Эта модель разработана для имитации потоков углерода внутри пяти почвенных пулов (резервуаров). Для нее необходима входная информация о количестве ежемесячно поступающих в почву растительных остатков и органических удобрений (т С/га) [7]. Согласно методике ФАО по созданию глобальной карты потенциала секвестрации углерода почвами сельхозугодий GSOCseq показатель NPP рассчитывается как минимальное количество углерода, способное поступить в почву при текущих температуре и осадках. Задачей данной работы было заменить такой подход на расчеты на основе фактических статистических данных, извлеченных из базы данных Росстата для муниципальных образований.

Методика. Учитывая глобальный характер проекта GSOCseq, методика формирования карт потенциала секвестрации была унифицирована ФАО [5].

Входные данные для моделирования. Информация о климатических данных была получена

из базы Climatic Research Unit (CRU) TS v4.05 [8]. Для расчетов потребовались среднемесячные значения температуры, осадков и эвапотранспирации по Пенману–Монтейту за период с 1980 по 2020 г. Карты SoilGrids служили источником данных о гранулометрическом составе почв [9]. Количество поступающего органического вещества в виде NPP (чистой первичной продукции – Net Primary Production), рассчитывалось в процессе моделирования по климатическим данным (температуре и осадкам) и соотносилось с длиной вегетационного периода. Последний также являлся расчетным показателем и оценивался как период с показателем NDVI, превышающим 0,5. Спутниковые снимки, полученные зондом MODIS транснационального спутника Terra, были адаптированы для текущей задачи с помощью инструмента Google Engine. Карта пахотных земель России, содержащая актуальную информацию о возделываемых угодьях и необходимая для дальнейшего моделирования, создана в 2021 г. отечественными исследователями на основе новой методики [10]. Начальные условия для моделирования запасов почвенного органического углерода в слое 0–30 см на 2000 г. были заданы на основе национальной картографической информации [11].

Согласно методике ФАО моделирование проводилось для четырех возможных сценариев. Они отличались входными данными о поступающем количестве органического вещества. Первый сценарий – сценарий неизменного хозяйствования (CHX или BAU – Business As Usual) – вводил в модель количество органического вещества, рассчитанное из климатических и спутниковых данных. Он подразумевал сохранение текущих практик возделывания земель. В трех сценариях рационального использования почвенных ресурсов (РИПП1, РИПП2 и РИПП3, или SSM1, SSM2, SSM3 – Soil Sustainable Management) количество поступающего органического вещества в почву увеличивалось на 5, 10 и 20 %, соответственно.

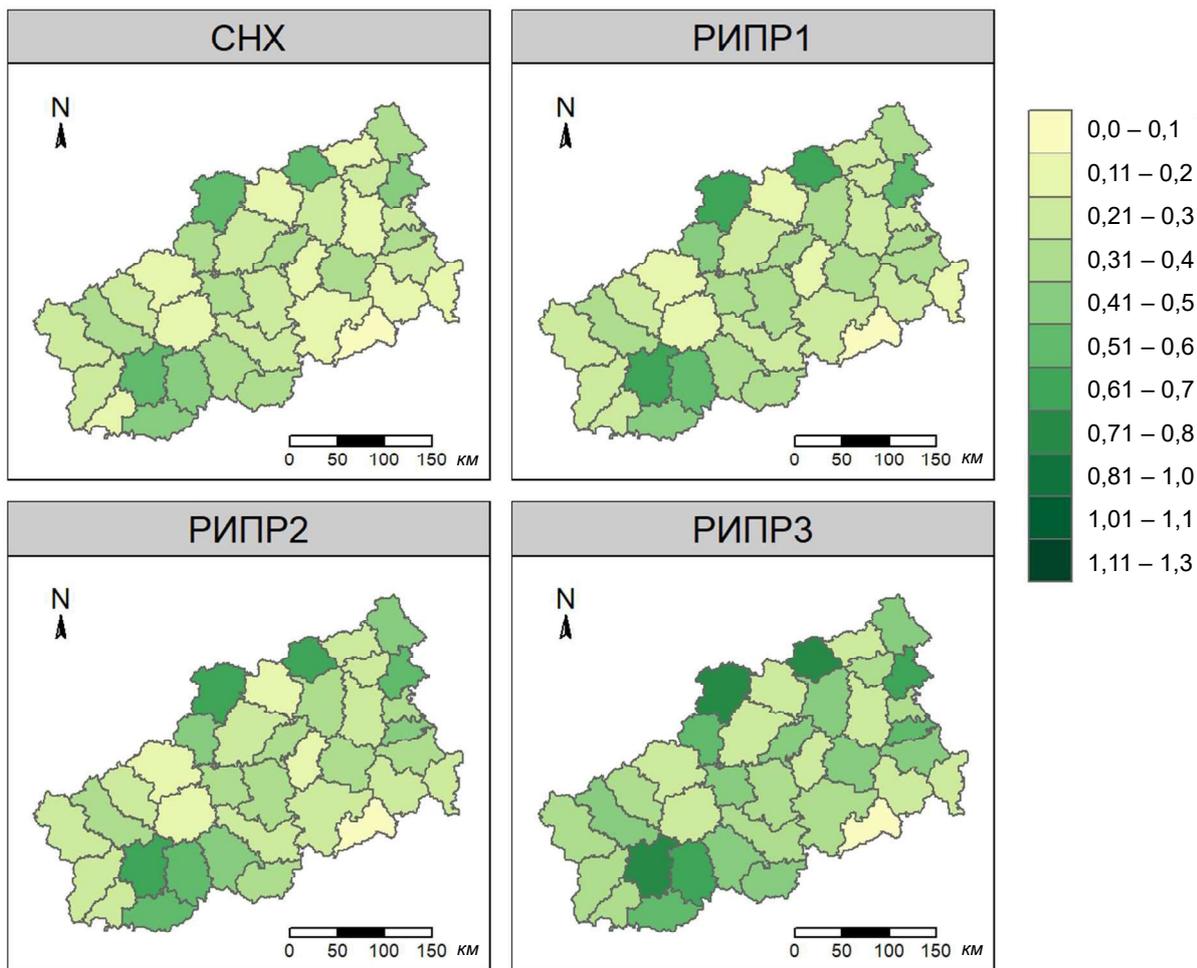


Рис. 2. Результаты расчетов по локализованным данным: абсолютные показатели скорости секвестрации почвенного углерода в Тверской области, т С/га в год для сценариев CHX, RИПР1, RИПР2 и RИПР3.

Считается, что применение углеродсберегающих технологий возделывания сказывается именно на показателе NPP, увеличивая его пропорционально интенсивности применяемой технологии.

В работе было реализовано развитие методологии ФАО по расчету NPP на основе фактических статистических данных. За основу расчетов были взяты уравнения регрессии для определения массы растительных остатков по урожаю основной продукции, разработанные отечественными исследователями [12]. Из Базы данных показателей муниципальных образований Росстата [13] были извлечены массивы о посевных площадях сельскохозяйственных культур, а также урожайности в расчете на убранную площадь. Таким образом была найдена биомасса подземной и надземной части растений, которая затем переводилась в абсолютно-сухую массу и была умножена на коэффициент пересчета растительных остатков в углерод.

Объект исследования. Тестовыми территориями для уточнения прогноза секвестрации были выбраны Тверская и Московская области.

Исследуемые территории простираются от зоны дерново-подзолистых почв южной тайги до зоны серых лесных почв широколиственных лесов, охватывает дерново-подзолистые, серые лесные почвы и частично черноземы оподзоленные. Растениеводство областей нацелено на выращивание кормовых культур, доля зерновых в структуре посевных площадей второстепенна.

Результаты и обсуждение. После получения уточненных данных сравнили значения NPP, включенные в модель при традиционной методике прогнозирования ФАО по климатическим данным, с NPP, полученными на основании статистических данных (рис. 1). Очевидно, что в соответствии с методикой ФАО прогноз NPP иллюстрирует климатический потенциал региона. Его пространственная вариабельность возрастает постепенно с северо-востока на юго-запад и не учитывает реальное плодородие почв. При обращении к статистическим данным NPP оказался в среднем ниже на 1,4 т С/га в год, то есть продуктивность полей ниже, чем можно было бы ожидать по глобальной климатической модели. При этом сильно

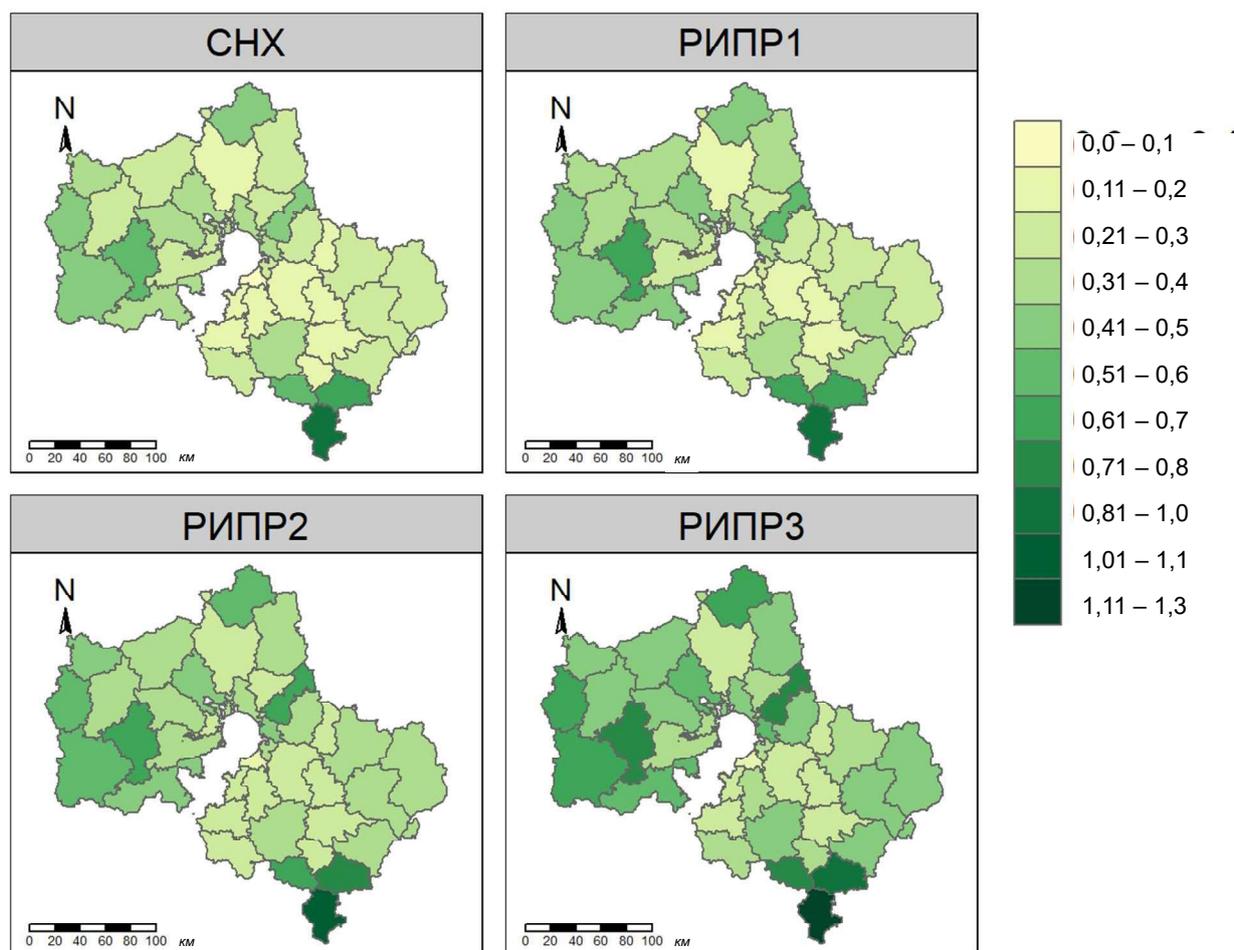


Рис. 3. Результаты расчетов по локализованным данным: абсолютные показатели скорости секвестрации почвенного углерода в Московской области, т С/га в год для сценариев СНХ, РИПР1, РИПР2 и РИПР3.

увеличился разброс значений: вместо диапазона 4,5–5,1 т С/га в год, значения варьируют от 1,7 т С/га в год до 8,7 т С/га в год и перераспределяются в соответствии с особенностями каждого района или почвенно-экологической зоной.

В Тверской области переход на локальную базу данных привел к отрицательному сдвигу NPP в среднем на 1,5 т С/га в год. Изменилось и пространственное распределение продуктивности. По традиционной методике расчетов наивысшие значения NPP были получены для южной части района. При использовании альтернативного метода расчета продуктивности максимальные значения этого показателя сместились в северо-западные районы.

Результаты моделирования по Московской области с использованием глобальных климатических данных показывают высокую продуктивность на юге региона. Реальная карта интенсивности сельскохозяйственного производства соответствует распределению уровней NPP, полученных по статистическим данным. Наиболь-

ший объем поступления углерода наблюдается на севере и северо-востоке области. В южных и юго-западных районах поступление углерода на 1–1,5 т С/га в год ниже, чем прогнозировалось с использованием глобальных данных. Наивысшие значения NPP зафиксированы в Озерском, Дмитровском и Ленинском районах (7,2; 7,5 и 8,7 т С/га в год, соответственно).

В Тверской и Московской областях расчеты средней скорости абсолютной секвестрации почвенного органического углерода прогнозируют его накопление на всей территории для любого из смоделированных сценариев (рис. 2, 3). Использование при моделировании NPP данных Росстата позволило получить более точные оценки скорости секвестрации почвенного углерода пахотными почвами каждой области. Обращение к актуальным статистическим данным привело к росту прогнозируемых значений секвестрации для обеих областей: для Московской области в среднем на 0,20 т С/га в год, для Тверской – на 0,15 т С/га в год. Разброс значений увеличился на

15%, что указывает на более дифференцированный и индивидуальный подход к оценке секвестрации на муниципальном уровне. Реальные показатели существенно корректируются локальными факторами, среди которых важны история использования участков, исходные запасы углерода и интенсивность современных технологий. Моделирование в данном случае имеет преимущество перед системой мониторинга, так как при низких значениях секвестрации существующие тренды могут не обнаруживаться из-за высокой временной и/или пространственной вариабельности [14].

Средние значения скорости секвестрации для Тверской области для сценариев СНХ, РИПР1, РИПР 2, РИПР3 составляют 0,28, 0,31, 0,34, 0,40 т С га/год, соответственно, а для Московской области они несколько выше и достигают 0,31, 0,35, 0,39, 0,46 т С га/год, соответственно. Наибольший потенциал для накопления органического углерода имеют Зарайский и Каширский районы, находящиеся на юге Московской области в зоне серых лесных почв широколиственных лесов районы, и Серебряно-Прудский район, расположенный в зоне оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов и серых лесных почв лесостепи, где наблюдаются наибольшие скорости накопления органического углерода, и они могут достигать 1,57 т С га/год (при сценарии РИПР3).

Заключение. Переход к более подробным входным данным по оценке чистой первичной продукции, основанным на статистическом материале дает возможность получать уточненные сведения о запасах углерода и скорости его секвестрации, дифференцированные для каждого муниципального образования. Подобный подход позволяет региональным органам власти адресно подходить к реализации приоритетных стратегий и программ развития сельского хозяйства.

Полученный в соответствии с новой методикой массив данных по чистой первичной продукции (НПП) демонстрирует перераспределение климатического потенциала в зависимости от локальных особенностей муниципального образования. Данный метод применим для количественной оценки изменения запасов углерода в почвах и анализа мер по смягчению последствий изменения климата на национальном уровне и соответствует третьему уровню оценки (создание национальной системы наблюдения и учета баланса углерода) согласно рекомендациям МГЭИК по оценке и мониторингу баланса углерода и парниковых газов [2, 3].

Литература:

1. <https://www.unep.org/ru/resources/doklad/shestoy-osenochnyy-doklad-mgeik-izmenenie-klimata-v-2022-godu> – 9 июня 2025.
2. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/>

index.html Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С., Духанин Ю.А., Козлов Д.Н. Методологические подходы формирования единой Национальной системы мониторинга и учета баланса углерода и выбросов парниковых газов на землях сельскохозяйственного фонда Российской Федерации // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2021. – № 108. – С. 175–218. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-108-175-218>

3. *Morais T.G., Teixeira R.F.M., Domingos T.* Detailed global modelling of soil organic carbon in cropland, grassland and forest soils // PLoS ONE. – 2019. – 14(9). – P. e0222604. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222604>
4. *Peralta G., Di Paolo L., Luotto I., Omuto C., Mainka M., Viatkin K., Yigini Y.* Global soil organic carbon sequestration potential map (GSOCseq v1.1): technical manual – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. – 255 p. <https://doi.org/10.4060/cb2642en>
5. Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map – SOCseq v.1.1.: technical report. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. – 179 p. <https://doi.org/10.4060/cb9002en>
6. *Coleman K., Jenkinson D. S., Powlson D. S., Smith P., Smith J. U.* RothC-26.3. A model for the turnover of carbon in soil // Evaluation of soil organic matter models using existing, long-term datasets. NATO ASI series I. – 1996. – V. 38. – P. 237–246. https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_17
7. *Harris I., Osborn T., Lister J.* Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset // Sci Data. – 2020. – V. 7. – № 109. P. 2052-4463. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>
8. *Poggio L., de Sousa L. M., Batjes N. H., Heuvelink G. B., Kempen B., Ribeiro E., Rossiter P.D.* SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty // Soil. – 2021. – V. 7. – № 1. – P. 217–240. <https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021>
9. *Кренке А.Н.* Выявление инвариантных состояний агроландшафтов на основе иерархического факторного анализа дистанционной информации // Принципы экологии. – 2020. – № 3. – С. 16–27.
10. *Чернова О.В., Голозубов О.М., Алябина И.О., Щепашенко Д.Г.* Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России // Почвоведение. – 2021. – № 3. – С. 273–286. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21030047>
11. *Левин Ф.И.* Количество растительных остатков в почвах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // Агрохимия. – 1977. – № 8. – С. 36–43.
12. <http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/munst.htm> – 9 июня 2025.
13. *Романенков В.А., Мешалкина Ю.Л., Горбачева А.Ю., Добровольская В.А., Кренке А.Н.* Прогноз динамики запасов углерода в почвах возделываемых земель Европейской России в контексте стратегии низкоуглеродного развития // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2023. – Т. 87. – № 4. – С. 584–596. <https://doi.org/10.31857/S2587556623040106>

Dobrovolskaya V., Meshalkina J., Gorbacheva A., Romanenkov V.

UPDATE OF THE MAP OF CARBON SEQUESTRATION POTENTIAL OF ARABLE SOILS IN THE MOSCOW AND TVER REGIONS BASED ON ROSSTAT DATA

*Lomonosov Moscow State University, Leninskiye Gory, 1, Bld.12, Moscow, 119991 Russia*The RothC carbon dynamic model is used to assess the sequestration potential of arable soils in Russia. This paper presents a methodology for transitioning the input data block responsible for net primary production (NPP) information from publicly available resources to local statistics from the Rosstat Municipal Database. An alternative approach for calculating carbon input to the soil was based on deriving carbon input using data on crop areas and yields from harvested areas. The results are presented for Tver and Moscow Regions. After applying the new approach, the estimates were differentiated at the municipal level for the upper 30 cm of arable soils with the spatial resolution of 1 km the shift to local data resulted in the average reduction in NPP of 1.5 t C/ha/year. Regarding the absolute sequestration rate, the shift towards positive values was observed, averaging 0.2 t C/ha/year for Moscow Oblast and 0.15 t C/ha/year for Tver Oblast. At the same time, the variation (spread) of values between municipalities increased.

Keywords: carbon sequestration, GSOCseq map, net primary production (NPP).