

Научная статья

Original article

УДК 631.423.4

DOI 10.55186/25876740\_2022\_6\_6\_39

**ОЦЕНКА УГЛЕРОДСЕКВЕСТРИРУЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВ  
АГРОЛАНДШАФТОВ СРЕДНЕГО УРАЛА**  
CARBON SEQUESTING POTENTIAL ASSESSMENT OF AGRICULTURAL  
LANDSCAPES SOILS IN THE MIDDLE URALS



**Вашукевич Надежда Викторовна**, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой почвоведения, агроэкологии и химии им. проф. Н.А. Иванова, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет» (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, д. 23), тел. 8(343) 221-41-37, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4444-5680>, [nadiav@bk.ru](mailto:nadiav@bk.ru)

**Карпухин Михаил Юрьевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет» (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42), тел. 8(343) 295-61-31, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8009-9121>, [mkarpuhin@yandex.ru](mailto:mkarpuhin@yandex.ru)

**Nadezhda V. Vashukevich**, candidate of biological sciences, associate professor, head of the soil science, agroecology and chemistry department named after prof. N. A. Ivanov, Ural state agrarian university (23 Turgenev st., Ekaterinburg, 620075 Russia), tel. 8(343) 221-41-37, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4444-5680>, [nadiav@bk.ru](mailto:nadiav@bk.ru)

**Mikhail Yu. Karpukhin**, candidate of agricultural sciences, associate professor, vice-rector for research and innovation, Ural state agrarian university (42 K. Liebknecht st.,

Ekaterinburg, 620075 Russia), tel. 8(343)295-61-31, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8009-9121>, [mkarpuhin@yandex.ru](mailto:mkarpuhin@yandex.ru)

**Аннотация.** В настоящей работе приведены первичные расчетные материалы по оценке углеродпротекторной емкости почв агроландшафтов Среднего Урала по методическим подходам, основанным на данных гранулометрического и минералогического состава. Проведен также расчет степени насыщенности почв углеродом и их углеродсеквестрирующего потенциала. По углеродпротекторной емкости изученные почвы располагаются в следующей последовательности: чернозем > темно-серая лесная > серая лесная > светло-серая лесная. Региональные серые и темно-серые почвы достаточно близки по расчетным параметрам, имеют умеренную насыщенность, углеродсеквестрирующий потенциал в 1,5 раза ниже, чем в светло-серых почвах. Если брать за единицу сравнения потенциал секвестрации (5-9 т С/га) черноземов Белгородской и Воронежской областей, то уральские черноземы значительно им уступают (21 т С/га).

**Abstract.** This paper presents primary calculation materials for assessing the Carbon Protection Capacity (CPC) of agricultural soils in the Middle Urals using methodological approaches based on particle size distribution and mineralogical composition. The Degree of Carbon Saturation (DCS) and the Carbon Sequestration Potential (CSP) were also calculated. According to the CPC, the studied soils are arranged in the following sequence: chernozem > dark gray forest soil > gray forest soil > light gray forest soil. Regional gray and dark gray soils are quite close in terms of calculated parameters, have moderate DCS, carbon sequestering potential is 1.5 times lower than in light gray soils. If we take the sequestration potential (5-9 t C/ha) of the chernozems of the Belgorod and Voronezh regions as a unit of comparison, then the Ural chernozems are significantly inferior to them (21 t C/ha).

**Ключевые слова:** *секвестрация углерода, почвы, агроландшафты, Средний Урал*

**Keywords:** *carbon sequestration, soils, agricultural landscapes, Middle Urals*

## Введение

Сельское хозяйство является радикальной формой преобразования наземных экосистем, почти 50% всей потенциально занятой растительностью земной поверхности в настоящее время представлено пахотными, сенокосными, пастбищными угодьями. Результатом явилось значительное воздействие на крупнейшие пулы наземной части биогеохимического цикла углерода – растительную биомассу и почвенное органическое вещество (ОВ).

По расчетам ученых переход от землепользования к сельскохозяйственному (с/х) производству привел к выносу в атмосферу  $136 \pm 55$  петаграмм ( $10^{12}$ ) углерода (Пг С),  $78 \pm 12$  петаграмм дополнительно потеряно органического углерода почвы. Суммарная оценка потерь в  $214 \pm 67$  Пг С от с/х деятельности вполне сопоставима с оценочным значением  $270 \pm 30$  Пг С, внесенным сжиганием ископаемого топлива в качестве исторического источника углерода [1].

Будучи одним из основных источников парниковых газов, агроэкосистемы не только испытывают на себе воздействие современных климатических изменений, но и способствуют им. В пахотных почвах формируется специфичный углеродный режим, характеризующийся потерей органического углерода ( $C_{орг.}$ ), неустойчивым его балансом, снижением содержания микробной биомассы [2].

Однако почвы могут быть не только источником, но и поглотителем углерода, в зависимости от управления, уровней поступления биомассы, микроклиматических условий и биоклиматических изменений. В почвах мира хранится значительно больше углерода, чем в атмосфере. Глобальный пул почвенного углерода на глубине одного метра, оцениваемый в 2500 Пг С, из которых около 1500 Пг С приходится на почвенный органический углерод, примерно в 3,2 раза превышает размер атмосферного пула и в 4 раза больше, чем пул биотический [3].

Под почвенной секвестрацией органического углерода понимается перевод атмосферного углекислого газа в живое органическое вещество растений (фотосинтез) с последующей трансформацией мортмассы в почвенное органическое вещество с периодом полного разложения (минерализации)

составляющих его органических компонентов на протяжении 10-100 лет. Поэтому понимание процессов образования, стабилизации и сохранения почвенного органического вещества, как и влияния внутрипочвенных и внешних факторов на его динамику, является важной предпосылкой выработки эффективных мер для обеспечения сбалансированной эмиссии и стока углерода в наземных экосистемах с учетом свойств почвы [4].

Почвенная секвестрация углерода наиболее перспективная и рентабельная природоохранная стратегия. Связывание углерода повышает естественное плодородие почв, на долгие годы снижается риск возврата углерода в атмосферу, создаются предпосылки для развития устойчивого земледелия и производства экологически безопасной продукции [5].

В 2021 г. Уральский ГАУ в числе ряда ведущих вузов и научных учреждений Свердловской области вошел в пилотный проект по созданию сети карбоновых полигонов в Российской Федерации [6]. Перед нашим вузом в проекте «Урал-Карбон» поставлены задачи изучения секвестрационной способности агроландшафтов на базе учебно-опытного хозяйства.

На первоначальном этапе возникла необходимость провести оценку секвестрационного потенциала почв с/х угодий Среднего Урала. Объектом настоящего исследования являются почвы Свердловской области, которые изучались в рамках крупномасштабного почвенного картирования 90-х годов прошлого века, проведенного ФГУП «УралНИИгипрозем».

### **Материалы и методы**

Почвенный покров агроландшафтов Свердловской области достаточно неоднороден. Большая часть пахотных угодий занята серыми лесными почвами (57%), черноземы и дерново-подзолистые почвы занимают по 12%. Кормовые угодья расположены в основном на луговых и аллювиально-луговых почвах (около 30%), а также на серых лесных (глеевых) почвах (26%) [7].

В материалах центра агрохимической службы «Свердловский» отмечается стабильно высокий дефицит баланса гумуса в почвах агроландшафтов 0,34-0,46 т/га. При сложившейся структуре посевных площадей ежегодно теряется до 1,5

т/га, половина из которых (до 0,78 т/га) связана с потерями из-за минерализации гумуса [8].

Для расчета углеродсеквистрирующего потенциала почв агроландшафтов Среднего Урала были использованы подходы, изложенные в статье Б.М. Когута и В.М. Семенова [4]. В данной работе определялись уровни углеродпротекторной емкости ряда почв европейской части России по Я. Хассинку (Hassink, 1997) [9] и А. Сиксу с соавторами (Six et al., 2002) [10]. В основе расчетов - информация по содержанию тонкодисперсных гранулометрических фракций и минералогическому составу почв. Далее были рассчитаны степени насыщенности почв углеродом и их углеродсеквистрирующий потенциал по методикам, изложенным в работах авторских коллективов под руководством Н. Майера (Meyer et al., 2017) [11] и М. Вейсмейера (Wiesmeier et al., 2014) [12].

### **Результаты и обсуждение**

Стабилизированное и защищенное от разложения почвенное органическое вещество характеризует так называемая «углеродпротекторная емкость почвы» (Carbon Protection Capacity, CPC) или углероддепонирующий потенциал почвы. Депонирование направлено на сохранение органического углерода в почве и предотвращение относительно быстрого его возврата из почвы в атмосферу в ходе минерализации [4].

Согласно Я. Хассинку [9] мерой CPC предложено считать содержание Сорг. в гранулометрических фракциях пыли и глины с размером частиц <0,02 мм. Зависимость выражена уравнением линейной регрессии, которое получено при обобщении большого массива экспериментальных данных, включающего в себя почвы разных типов, местоположений, землепользований.

Позднее А. Сикс с соавторами [10] предложили оценивать CPC почвы по доле частиц < 0,05 мм. Кроме того, они предложили учесть минералогический состав почвы, поскольку даже при близком содержании фракций пыли и глины, почвы с доминированием 2 : 1 минералов способны стабилизировать больше углерода, чем почвы с 1 : 1 минералами.

Таблица 1 – Углеродпротекторная емкость почв Среднего Урала, г С кг<sup>-1</sup>, рассчитанная по гранулометрическим фракциям пыли и глины

n	Фракции частиц в мм, % от массы		Расчет по Hassink, et al. 1997.	Расчет по Six et al., 2002				
	<0.02	<0.05		CPC1	CPC2	CPC3	CPC4	CPC5
Светло-серые лесные (Л1)								
10	45±6	62±8	<u>21</u>	22	15	28	22	<u>22</u>
Серые лесные (Л2)								
10	52±4	84±4	<u>23</u>	25	17	32	27	<u>25</u>
Темно-серые лесные (Л3)								
10	52±3	77±5	<u>24</u>	26	18	32	26	<u>25</u>
Черноземы (Ч)								
10	59±2	83±3	<u>26</u>	28	19	32	27	<u>27</u>

Для расчета величин CPC были сделаны выборки из литературных источников [13] и отчетов по почвенному обследованию ряда хозяйств. В таблице 1 представлены полученные данные по четырем типам и подтипам почв, которые наиболее распространены под агроландшафтами.

По углеродпротекторной емкости изученные нами почвы располагаются в следующей последовательности: чернозем> темно-серая лесная> серая лесная> светло-серая лесная. В черноземах Среднего Урала депонируется в 1,2 раза больше углерода, чем в светло-серой лесной почве. Региональные черноземы по углеродпротекторной емкости близки к выщелоченным аналогам Тамбовской, Курской, Липецкой областей, а серые лесные почвы к таковым Московской и Тульской областей.

Количество углерода, недостающее до полного насыщения почвы (Carbon Saturation Deficit, CSD) было предложено рассчитывать по разнице между CPC и фактическим (измеренным) содержанием углерода во фракции пыли и глины. В случае частиц менее 0,05 мм предлагается использовать данные по содержанию органического углерода, связанного минеральной массой (Mineral-associated Organic Matter, MOM) во фракции, получаемой после отделения твердых дискретных органических частиц (Particulate Organic Matter, POM) вместе фракцией песка.

Показатель MOM нами был рассчитан по уравнению регрессионной зависимости между потенциальной углеродпротекторной емкостью почв (CPC) и содержанием углерода, стабилизированного поверхностью минеральных частиц <0,05 мм (MOM), приведенному в работе [4].

По полученным значениям CSD и CPC произведен расчет показателей: DCS степень насыщенности почвы углеродом (Degree of Carbon Saturation,) и CSP потенциал секвестрации углерода (Carbon Sequestration Potential). Были использованы методики расчетов, изложенные в работах [11,12].

В целом, дефицит насыщения углеродом (CSD) в изученных нами почвах Среднего Урала составил 6-11 г С кг<sup>-1</sup>. Если сравнивать полученные материалы с результатами других регионов [4], среднеуральские светло-серые почвы практически по всем параметрам идентичны серым лесным почвам Московской и Тульской областей, которые были отнесены к мало насыщенным углеродом (таблица 2).

Региональные серые и темно-серые почвы достаточно близки по расчетным параметрам, имеют умеренную насыщенность, углеродсеквестрирующий потенциал в 1,5 раза ниже, чем в светло-серых почвах.

Если брать за единицу сравнения потенциал секвестрации CSP (5-9 т С/га) черноземов Белгородской и Воронежской областей, то уральские черноземы значительно им уступают (21 т С/га).

Таблица 2 – Показатели углеродсеквестрирующей способности почв Среднего Урала

Почвы	С орг.	CPC	MOM	CSD	CSP т С/га потенциал секвестрации углерода	DCS, % степень насыщенности почвы углеродом
	г С кг <sup>-1</sup>					
Светло-серые лесные (Л1)	16,7	21	10	11,3	42	48
Серые лесные (Л2)	28,7	23	17	7,6	28	69,6
Темно-серые лесные (Л3)	46,1	25	18	7,5	26	70,4
Черноземы (Ч)	60,5	26	20	6,2	21	77
<i>Серые лесные, Московская область</i>	<i>18,8</i>	<i>24,1</i>	<i>12,0</i>	<i>12,1</i>	<i>30</i>	<i>50</i>
<i>Чернозем обыкновенный, Воронежская область</i>	<i>47,2</i>	<i>31,2</i>	<i>28,5</i>	<i>2,7</i>	<i>9</i>	<i>91</i>

Достаточно информативным показателем может быть Degree of Carbon Saturation (степень насыщенности почвы углеродом), который в черноземах Среднего Урала значительно ниже (77%), чем в зоне черноземных почв (90-130%).

### **Выводы.**

Материалы, представленные в настоящей работе, являются теоретически расчетными. Более детальные и точные данные будут получены по результатам исследований содержания органического углерода в гранулометрических фракциях почв под различными агрофитоценозами и системами земледелия, которые уже начали осуществляться в рамках проекта «Урал-Карбон» на полях учебно-опытного хозяйства Уральского ГАУ.

### **Благодарности.**

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования (тема № FEUZ-2021-0014).

### **Литература**

1. Hicks Pries C. E., Castanha C., Porras R. C., Torn M. S. The whole-soil carbon flux in response to warming //Science. 2017. № 355. P.1420–1423.
2. Суховеева О. Э. Проблемы моделирования биогеохимического цикла



углерода в агроландшафтах // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2020. Т. 162. кн. 3. С. 473–501.

3. Zomer R.J., Bossio D.A., Sommer R., Verchot L.V. Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland // Soils. Sci Rep. 2017. № 7. P.15554.

4. Когут Б.М., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 102. С. 103-124.

5. Гаффарова, Л.Г. Динамика запасов гумуса и прогноз углеродсеквестирующего потенциала зональных почв Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 27-31.

6. Карбоновые полигоны Российской Федерации [Электронный ресурс] Официальный сайт. URL: <https://carbon-polygons.ru/>

7. Научно обоснованная зональная система земледелия Свердловской области. /Под общей редакцией д. с.-х. н. Н. Н. Зезина. Екатеринбург. 2020. 372 с.

8. Тощев В.В. Результаты мониторинга плодородия почв Свердловской области // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 8. С. 16-22.

9. Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles // Plant and Soil. 1997. Vol. 191. P. 77–87.

10. Six J., Conant R.T., Paul E.A., Paustian K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils // Plant and Soil. 2002. Vol. 241. P. 155–176.

11. Meyer N., Bornemann L., Welp G., Schiedung H., Herbst M., Amelung W. Carbon saturation drives spatial patterns of soil organic matter losses under long-term bare fallow // Geoderma. 2017. Vol. 306. P. 89–98.

12. Wiesmeier M., Hübner R., Spörlein P., Geuß U., Hangen E., Reischl A., Schilling B., von Lützow M., Kögel-Knabner I. Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation // Global Change Biology. 2014. Vol. 20 (2). P. 653–665.

13. Гафуров Ф. Г. Почвы Свердловской области.

Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2008. 396 с.

### Literatura

1. Hicks Pries C. E., Castanha C., Porras R. C., Torn M. S. The whole-soil carbon flux in response to warming // *Science*. 2017. № 355. P.1420–1423.
2. Suhoveeva O. E. Problemy modelirovaniya biogeoхимического цикла углерода в агроландшафтах // *Uchen. zap. Kazan. un-ta. Ser. Estestv. nauki*. 2020. T. 162. kn. 3. S. 473–501.
3. Zomer R.J., Bossio D.A., Sommer R., Verchot L.V. Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland // *Soils. Sci Rep*. 2017. № 7. R.15554.
4. Kogut B.M., Semenov V.M. Ocenka насыщения почвы органическим углеродом // *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*. 2020. Vyp. 102. S. 103-124.
5. Gaffarova, L.G. Dinamika zapasov гумуса i prognoz углеродсеквестрирующего потенциала зональных почв Республики Татарстан // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. T. 16. № 3 (63). S. 27-31.
6. Karbonovye poligony Rossijskoj Federacii [Elektronnyj resurs] Oficial'nyj sajt. URL: <https://carbon-polygons.ru/>
7. Nauchno obosnovannaya zonal'naya sistema zemledeliya Sverdlovskoj oblasti. /Pod obshchej redakciej d. s.-h. n. N. N. Zezina. Ekaterinburg. 2020. 372 s.
8. Toshchev V.V. Rezul'taty monitoringa plodorodiya почв Sverdlovskoj oblasti // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2017. № 8. S. 16-22.
9. Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles // *Plant and Soil*. 1997. Vol. 191. P. 77–87.
10. Six J., Conant R.T., Paul E.A., Paustian K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils // *Plant and Soil*. 2002. Vol. 241. P. 155–176.
11. Meyer N., Bornemann L., Welp G., Schiedung H., Herbst M., Amelung W. Carbon saturation drives spatial patterns of soil organic matter losses under long-term bare fallow // *Geoderma*. 2017. Vol. 306. P. 89–98.
12. Wiesmeier M., Hübner R., Spörlein P., Geuß U., Hangen E., Reischl A., Schilling B., von Lützow M., Kögel-Knabner I. Carbon sequestration potential of soils in

southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation // *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20 (2). P. 653–665.

13. Gafurov F. G. *Pochvy Sverdlovskoj oblasti*. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta. 2008. 396 s.

© *Вашукевич Н.В., Карпухин М.Ю., 2022. International agricultural journal, 2022, № 6, 1242-1252.*

**Для цитирования:** Вашукевич Н.В., Карпухин М.Ю. ОЦЕНКА УГЛЕРОДСЕКВЕСТИРУЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВ АГРОЛАНДШАФТОВ СРЕДНЕГО УРАЛА//*International agricultural journal*. 2022. № 6, 1242-1252.