

4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА
И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ (БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.41

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_70

EDN: JIOXSN

**Динамика показателей содержания углерода органических соединений,
гумуса и его запасов при различном сельскохозяйственном
использовании в условиях Каменной степи**

**Надежда Сергеевна Горбунова^{1✉}, Елена Анатольевна Высоцкая²,
Сергей Сергеевич Шешницан³, Виктор Дмитриевич Постолов⁴**

¹ Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

^{2, 4} Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия

³ Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

¹ vilian@list.ru✉

Аннотация. В условиях Каменной степи изучали антропогенные экосистемы, представленные пахотным участком и полезащитной лесной полосой, расположенной в непосредственной близости от пашни. Данные виды агроэкосистем вносят существенный вклад в трансформацию почвенного покрова и прежде всего гумусного состояния почв, содержания углерода органических соединений и запасов гумуса, что оказывает влияние на глобальный цикл углерода в целом. Исследуемые черноземы Каменной степи характеризуются высокими показателями содержания углерода органических соединений, гумуса и его запасов. Благодаря оптимальным факторам почвообразования по содержанию гумуса черноземы относятся к сильно гумусированным видам. В результате интенсивной распашки отмечается усиление минерализации органического вещества, при этом происходит трансформация черноземов в среднегумусированные виды. В исследуемых агроэкосистемах отмечаются высокие запасы общего углерода и гумуса, что связано с устойчивостью и стабильностью черноземов к антропогенным воздействиям. В профиле распределения углерода органических соединений, гумуса и его запасов в черноземах под лесополосой отмечается постепенное изменение показателей. Явление обусловлено более благоприятными микроклиматическими условиями участка, которые способствуют аккумуляции органического вещества и формированию гумуса. Полученные данные по пространственному распределению общего углерода в верхнем слое исследуемых черноземов, а также коэффициенты вариации позволяют вести систематическое наблюдение за неоднородностью распределения показателей в пространстве и на этой основе прогнозировать устойчивость черноземов к антропогенным воздействиям, рассматривая почву как ключевой этап в общей биогеохимической миграции углерода в биосфере.

Ключевые слова: гумус, углерод органических соединений, запасы гумуса, карбоновые полигоны, Каменная степь, агроэкосистемы, лесная полоса

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 123102700029-3 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата» (FZUR-2023-0001).

Для цитирования: Горбунова Н.С., Высоцкая Е.А., Шешницан С.С., Постолов В.Д. Динамика показателей содержания углерода органических соединений, гумуса и его запасов при различном сельскохозяйственном использовании в условиях Каменной степи // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 4(83). С. 70–79. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_70–79.

4.1.3. AGRICULTURAL CHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE,
PROTECTION AND QUARANTINE OF PLANTS (BIOLOGICAL SCIENCES)

Original article

**Dynamics of indicators of the content of carbon in organic compounds,
humus and its reserves when applying various agricultural practices
in the conditions of the Kamennaya Steppe**

**Nadezhda S. Gorbunova^{1✉}, Elena A. Vysotskaya²,
Sergey S. Sheshnitsan³, Viktor D. Postolov⁴**

¹ Voronezh State University, Voronezh, Russia

^{2, 4} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,
Voronezh, Russia

³ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

¹ vilian@list.ru✉

Abstract Anthropogenic ecosystems were studied in the conditions of the Kamennaya Steppe, which were represented by an arable plot and forest shelterbelt No. 43, located in close proximity to the arable land. These types of agroecosystems make a huge contribution to the transformation of soil cover, and above all, the humus content in soils, the carbon content of organic compounds and humus reserves, which affects the global carbon cycle. The studied chernozem soils of the Kamennaya Steppe are characterized by a high carbon content of organic compounds, humus content and its reserves. Due to optimal soil formation factors in terms of humus content, chernozems are classified as types of soil rich in humus. As a result of intensive plowing, there was an increase in the mineralization of organic matter, and the transformation of chernozems into medium-humous types occurred. At the same time, in the studied agroecosystems there are high total carbon and humus reserves, which is associated with the resistance and stability of chernozems to anthropogenic influences. The distribution of the carbon profile of the organic compounds, the humus content and the reserves in chernozems underwent gradual change under the forest shelterbelt. The phenomenon was due to more favorable microclimatic conditions of the site, which contribute to the accumulation of organic matter and the humus formation. The data obtained on the spatial distribution of total carbon in the upper layer of the studied chernozems, as well as the coefficients of variation, make it possible to conduct observations of the heterogeneity of the distribution of indicators in space and, on this basis, predict the stability of chernozems to anthropogenic influence, considering the soil as a key stage in the overall biogeochemical migration of carbon in the biosphere.

Keywords: humus, carbon of organic compounds, humus reserves, carbon testing area, Kamennaya Steppe, agroecosystems, forest belt

Funding: the study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, theme No. 1023013000012-7 "Biogeochemical monitoring of the carbon cycle in natural anthropogenic ecosystems of Voronezh Oblast under conditions of global climate change" (FZUR-2023-0001).

For citation: Gorbunova N.S., Vysoitskaya E.A., Sheshnitsan S.S., Postolov V.D. Dynamics of indicators of the content of carbon in organic compounds, humus and its reserves when applying various agricultural practices in the conditions of the Kamennaya steppe. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(4):70-79. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_70-79.

Введение

Глобальное изменение климата в последние два десятилетия превратилось в одну из наиболее острых проблем мировой науки, в важнейший элемент новой реальности, к которому отдельные страны и все человечество вынуждены приспосабливать свою хозяйственную деятельность. Вопросы трансформации таких почвенных показателей, как содержание углерода органических соединений, гумуса и его запасов в настоящее время приобретают особую актуальность. Данные показатели определяют естественное почвенное плодородие, влияют на урожайность и продуктивность как естественных, так и искусственных биогеоценозов. При этом необходимо помнить, что все эти показатели являются непосредственными участниками биогеохимического цикла углерода, тесно коррелирующего с трансформацией окружающей природной среды, которая определяется глобальными климатическими изменениями [5, 6, 7, 13, 14]. Масштабность трансформации объясняется еще и тем, что именно цикл углерода оказывает влияние на другие циклы элементов.

При современном состоянии атмосферы, с дополнительным действием парникового эффекта, фиксируются сокращения продуктивности как естественных, так и искусственных экосистем [4]. Об огромной роли углерода свидетельствует гипотеза, о почвенном происхождении углекислого газа атмосферы [15]. При этом почвы являются аккумулятором и хранилищем углекислоты, которая в течение сотен тысяч лет накапливалась в форме органического вещества почв и гумуса.

Запасы почвенного органического вещества и гумуса являются ключевым фактором, определяющим плодородие почв, которое, в свою очередь, обуславливает оптимальные условия для жизнедеятельности всех организмов. Наиболее важным аспектом является то, что для экосистем, обогащенных органическим веществом в виде гумуса, характерна высокая устойчивость к внешним антропогенным воздействиям [8].

Особо следует подчеркнуть, что максимальные запасы гумуса характерны для почв лесостепной и степной зон европейской территории России [9]. Поэтому вопросы исследования гумусного состояния почв, его запасов, а также возможных способов их

увеличения весьма актуальны. К сожалению, на современном этапе развития земледелия отмечается устойчивая тенденция дегумификации пахотных почв.

Современный уровень развития сельскохозяйственного производства все больше количество земель переводит под участки пашни. При этом вовлекаются наиболее плодородные почвы, в том числе и черноземы Каменной степи [12]. Данный процесс сопровождается усилением минерализации органического вещества и потерей углерода органических соединений, процентного содержания гумуса и его запасов. Трансформируются физические и физико-химические свойства почв [2]. Распашка сопровождается дефляционными и эрозионными явлениями [1], которые приводят к еще более сильной трансформации гумусовых веществ. Для предотвращения деградиционных явлений, вызванных эрозией и дефляцией, рекомендуется внедрение полевых защитных лесных полос [3, 11, 16, 17]. При этом помимо защитной функции лесополосы влияют на почвенные процессы. Они создают уникальный микроклимат, регулируют уровень грунтовых вод, за счет глубокого проникновения корневых систем рыхлят почвенный покров, тем самым улучшая физические свойства почв. Под лесными полосами отмечается оптимальный уровень микробной биомассы, дыхательной активности, фиксации азота [10].

Цель исследования – изучить характер изменений содержания углерода органических соединений, гумуса, а также его запасов в условиях Каменной степи в пахотном агроценозе и экосистеме лесополосы; выявить пространственные особенности варьирования распределения общего углерода.

Место и методика исследований

Исследования проводились в течение 2023 г. Антропогенные экосистемы Каменной степи представлены залежными и пахотными участками, а также сетью полевых защитных лесополос. Наибольший вклад в баланс потока углерода в данном случае вносят пахотные участки и полевые защитные лесополосы, именно поэтому нами исследовалась полевая защитная лесополоса № 43 и прилегающая к ней территория пашни (рис. 1).



Рис. 1. Территория исследования агроэкосистем в Каменной степи: участки пашни и полевых защитных лесных полос

Согласно классификации 1977 г., почвы представлены черноземами типичными мощными тяжелосуглинистыми на покровных карбонатных суглинках. Современная классификация КиДПР 2004 г. отдельно выделяет почвы под пахотным участком как агрочерноземы миграционно-мицеллярные карбонатсодержащие мощные тяжелосуглинистые на покровных и лессовидных суглинках, а под длительно функционирующей лесной полосой № 43 – черноземы миграционно-мицеллярные карбонатсодержащие мощные тяжелосуглинистые на покровных и лессовидных суглинках.

Из заложенных почвенных разрезов проводился послойный отбор почвенных образцов каждые 10 см.

Параллельно проводился пробоотбор для определения плотности почвы (пробоотборником ПГ-100 с комплектом режущих колец для отбора проб грунта) с целью расчета показателей запаса гумуса в исследуемых почвах.

Для получения данных по пространственному варьированию показателей из слоя 0–30 см с помощью почвенного бура АМ-16 осуществлялся отбор образцов, согласно карте-схеме (рис. 2). Каждый образец почв был получен путем смешивания не менее 3 индивидуальных проб, отобранных в каждой точке.

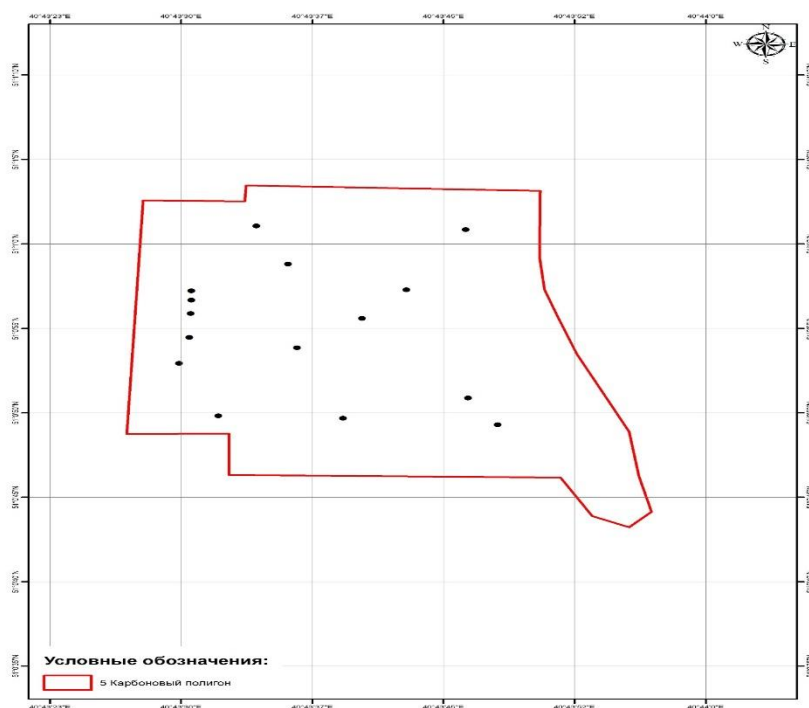


Рис. 2. Карта-схема отбора проб на территория исследования агроэкосистем в Каменной степи

Углерод органических соединений определяли методом сухого сжигания с применением элементного анализатора ECS 8024 NC Soil Special.

Валовое содержание гумуса определяли с помощью пересчета на коэффициент, равный 1,724.

Полученные данные по содержанию гумуса, его запасов и углерода органических соединений представлены с учетом влажности.

Результаты аналитических исследований обрабатывались статистически с использованием программ Statistica 6.0 и Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

Почвообразующие породы объекта исследования представлены покровными и лессовидными карбонатными глинами и суглинками, которые в минералогическом отношении имеют богатый состав, что отразилось на формировании высокоплодородных

исследуемых черноземов. Полученные данные свидетельствуют о том, что почвы под лесополосой относятся к сильно гумусированным, с максимальным содержанием гумуса, достигающим 10,67% в слое 0–10 см (табл. 1).

Таблица 1. Статистические показатели содержания гумуса и общего углерода, % в агроэкосистемах Каменной степи ($n = 2$)

Глубина, см	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	min	max	V, %
	Гумус				Общий углерод			
0–10	9,19 ± 1,48	7,71	10,67	23	5,32 ± 0,86	4,47	6,19	23
10–20	8,13 ± 0,63	7,50	8,76	11	4,71 ± 0,37	4,35	5,08	11
20–30	7,86 ± 0,36	7,50	8,22	6	4,56 ± 0,21	4,35	4,77	6
30–40	6,68 ± 0,61	6,07	7,28	13	3,86 ± 0,34	3,52	4,21	13
40–50	5,46 ± 0,45	5,01	5,91	12	3,21 ± 0,21	3,00	3,43	12
50–60	4,75 ± 0,11	4,64	4,86	3	2,75 ± 0,06	2,69	2,82	3
60–70	4,32 ± 0,08	4,24	4,40	3	2,51 ± 0,05	2,46	2,55	3
70–80	4,35 ± 0,13	4,22	4,47	4	2,23 ± 0,22	2,01	2,45	4
90–100	4,00 ± 0,83	3,17	4,83	29	2,32 ± 0,48	1,84	2,79	29
100–110	4,62 ± 0,12	4,50	4,47	4	2,68 ± 0,07	2,61	2,75	4
110–120	3,58 ± 0,58	3,00	4,15	22	2,45 ± 0,05	2,41	2,50	22

Примечание: n – количество образцов; \bar{x} – среднее арифметическое, мг/кг; $s_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического; V – коэффициент вариации, %.

В условиях длительно произрастающей лесополосы формируются благоприятные условия для накопления органического вещества и его синтез в гумус в профиле почв. Дополнительное влагозадержание способствует перераспределению органического вещества в профиле и его проникновению более глубокие горизонты почв.

Интенсивное ведение сельхозпроизводства, которое сопровождается регулярной распашкой, усиливает процессы минерализации органического вещества. С урожаем сельскохозяйственных культур ежегодно выносятся огромные количества органоминеральных соединений, а также различные элементы минерального питания, которые не восполняются внесением органических и минеральных удобрений. Кроме того, распашка способствует дополнительной аэрации верхних почвенных горизонтов, в присутствии кислорода процессы минерализации и распада органических соединений осуществляются значительно быстрее.

На основании полученных данных можно сделать вывод о снижении содержания гумуса до 7,71% в слое 0–10 см, что свидетельствует в пользу того, что черноземы трансформируются в агрочерноземы среднегумусированных видов. При этом в почвах под лесополосой сохраняется исходное, довольно высокое содержание органического вещества, которое достигает 10,67% в слое 0–10 см (табл. 1).

Черноземы в агроэкосистемах Каменной степи относятся к сильногумусированным видам. Вниз по почвенному профилю отмечается постепенное снижение содержания общего углерода и гумуса (рис. 3).

Следует отметить, что на глубине 80–90 см отмечается некоторое увеличение содержания как углерода органических соединений, так и количества гумуса, это явление связано с роющей деятельностью почвенной зоофауны, которая широко (в видовом отношении) представлена в районе исследования. Коэффициент вариации для экосистемы лесополос на территории Каменной степи составляет 15,5% – средняя степень варьирования, а для агроэкосистемы пашни – 8,97%.

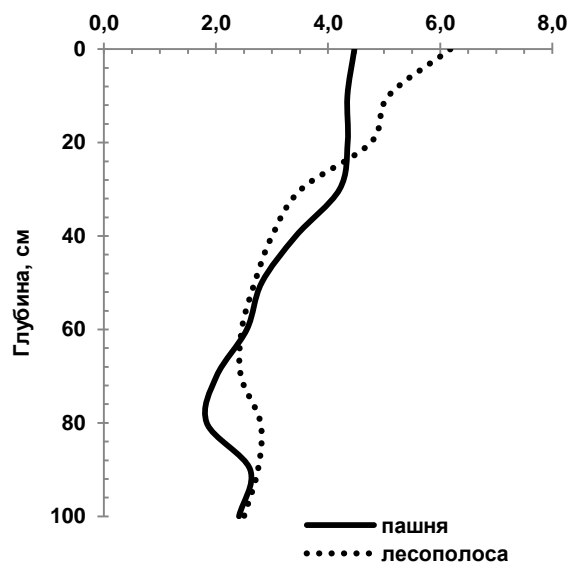


Рис. 3. Профильное распределение общего углерода в агроэкосистемах Каменной степи, %

В результате регулярной распашки происходит перераспределение углерода органического вещества и содержания гумуса в пространстве, что приводит к пространственной однородности показателей. Согласно обобщенным значениям пространственного варьирования получены средние значения изменчивости признака, которые уменьшаются вниз по почвенному профилю (табл. 1).

На приведенной на рисунке 4 карте-схеме четко прослеживается неоднородность в пространственном распределении углерода органических соединений в агроценозах Каменной степи.

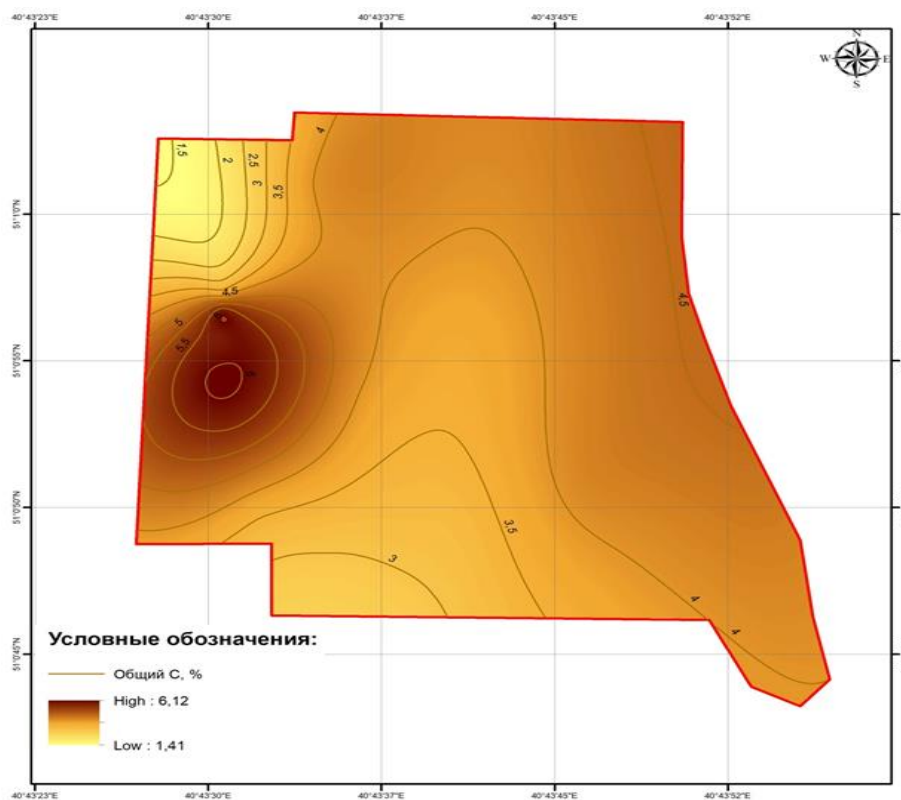


Рис. 4. Карта-схема пространственного распределения общего углерода в слое 0–30 см (агроэкосистемы Каменной степи)

Согласно полученным данным, для почв Каменной степи характерно высокое содержание гумуса, что позволяет оценить исследуемые черноземы как устойчивые в агроэкосистемах.

Высокая буферная способность почв способствует их саморегуляции, в том числе и в общем биосферном уровне.

При характеристике гумусного состояния почв важно не только приводить данные его процентного содержания, но и давать оценку запасам как гумуса, так и общего углерода (табл. 2). Запасы рассчитывались на корнеобитаемые слои, а также на метровую толщ.

Таблица 2. Запасы общего углерода (числитель), гумуса (знаменатель) в слоях 0–30, 0–60 и 0–100 см лесных и сельскохозяйственных экосистем, т/га

Слой почвы, см	Сельскохозяйственные экосистемы	
	Пашня	Лесополоса
0–30	$\frac{144}{248}$	$\frac{165}{285}$
0–60	$\frac{260}{448}$	$\frac{272}{469}$
0–100	$\frac{392}{676}$	$\frac{385}{663}$

Данные, приведенные в таблице 2, свидетельствуют в пользу того факта, что даже при существенном антропогенном воздействии в черноземах сохраняется высокое содержание гумуса по всему профилю, что подтверждает высокую устойчивость черноземных почв к внешним факторам воздействия. При этом распахиваемые черноземные почвы все же теряют углерод органических соединений и гумус в результате усиленной минерализации. Данное положение четко прослеживается на рисунке 5, где показано распределение запасов общего углерода в агрочерноземах и в черноземах под лесополосой.

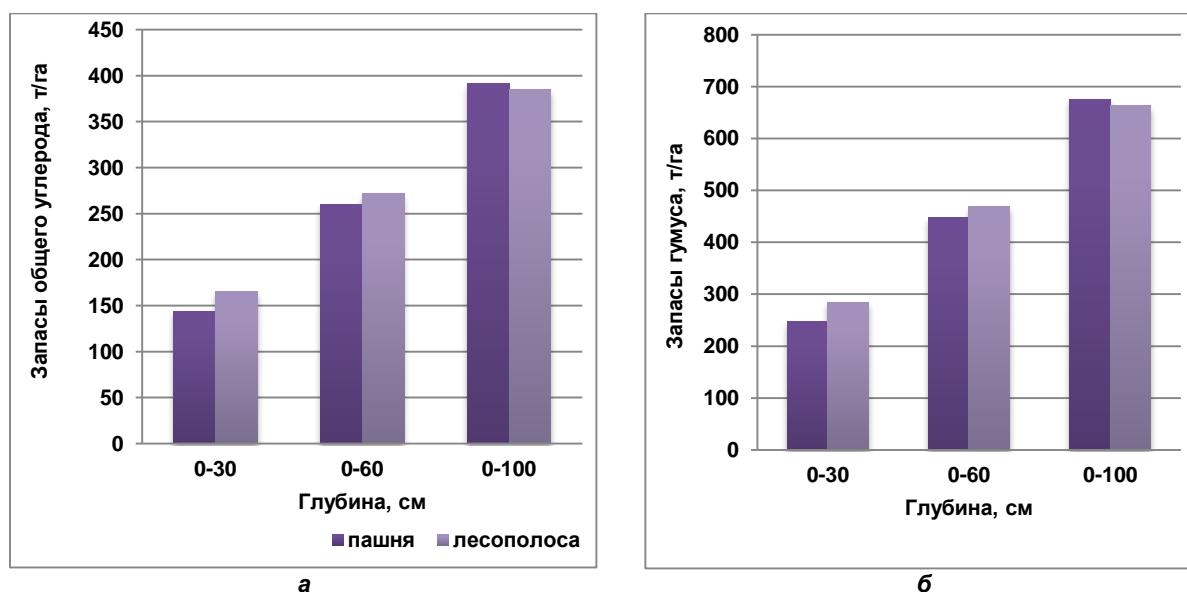


Рис. 5. Распределение запасов общего углерода (а) и гумуса (б) в слоях 0–30, 0–60 и 0–100 см сельскохозяйственных экосистем

В черноземах лесополосы запасы общего углерода и гумуса в слое 0–30 см составляют соответственно 165 и 285 т/га, в то время как на пахотном участке отмечается снижение запасов до 144 и 248 т/га (табл. 2). Аналогичная зависимость выявлена в слоях 0–60 и 0–100 см.

В целом черноземы Каменной степи имеют сравнительно высокие запасы общего углерода и гумуса, которые определяют не только положительные химические, физические и физико-химические свойства этих почв, но и их экологические функции, в том числе устойчивость к антропогенному воздействию.

Выводы

Исследуемые черноземы и агрочерноземы миграционно-мицеллярные, сформированные в благоприятных почвенно-экологических условиях Каменной степи характеризуются как высокоплодородные почвы, с высоким содержанием углерода органических соединений, запасами гумуса. Так, под лесной растительностью черноземы диагностируются как сильногумусированные виды, а запасы гумуса характеризуются как очень высокие для верхних слоев и метровой толщи.

Интенсивное ведение сельского хозяйства усиливает процессы минерализации органического вещества, происходит некоторое снижение содержания исследуемых показателей. Но несмотря на это агрочерноземы относятся к среднегумусированным видам, а запасы гумуса также классифицируются как очень высокие для метровой толщи и верхних слоев. Вниз по почвенному профилю происходит довольно равномерное снижение содержания общего углерода во всех исследуемых почвах, независимо от характера почвообразования.

Высокие запасы общего углерода и гумуса отмечаются в черноземах агроэкосистем Каменной степи. Явление обусловлено устойчивостью черноземов к антропогенным воздействиям. При этом наибольшие запасы как общего углерода, так и гумуса отмечаются в экосистемах лесополос, которые создают весьма благоприятные условия для синтеза органического вещества и дальнейшего гумусонакопления.

Изученные показатели почвенного покрова Каменной степи – содержание углерода органических соединений, гумуса и его запасов – оказывают влияние на глобальный цикл углерода. Черноземы и агрочерноземы Каменной степи обладают устойчивыми показателями, сохраняют биоклиматическое равновесие территории.

Список источников

1. Васенев И.И., Горбунова Н.С., Громовик А.И. и др. Влияние водной эрозии на структуру и содержание лабильных гумусовых веществ в структурно-агрегатных фракциях черноземов выщелоченных Центрально-Черноземного региона // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2022. Т. 17, № 3. С. 315–330. DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-3-315-330.

2. Громовик А.И., Горбунова Н.С. Формирование горизонта плужной подошвы в черноземах и ее сорбционные особенности в отношении органического вещества и тяжелых металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т. 22, № 6. С. 877–884. DOI: 10.17308/sorpchrom.2022.22/10894.

3. Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. № 88. С. 121–137. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-88-121-137.
4. Заварзин Г.А. Роль биоты в глобальных изменениях климата // Физиология растений. 2001. Т. 48, № 2. С. 306–314.
5. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Хорошаев Д.А. и др. Анализ многолетней динамики дыхания почв в лесном и луговом ценозах Приокско-Террасного биосферного заповедника в свете современных климатических трендов // Почвоведение. 2020. Т. 53, № 10. С. 1220–1236. DOI: 10.31857/S0032180X20100112.
6. Курганова И.Н., Семенов В.М., Кудеяров В.Н. Климат и землепользование как ключевые факторы стабильности органического вещества в почвах // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489, № 6. С. 646–650. DOI: 10.31857/S0869-56524896646-650.
7. Припутина И.В., Быховец С.С., Фролов П.В. и др. Применение математических моделей ROMUL и ROMUL_HUM для оценки эмиссии CO₂ и динамики органического вещества в серой лесной почве под листовым лесом в южном Подмоскowie // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1262–1275. DOI: 10.31857/S0032180X20100159.
8. Снакин В.В., Алябина И.О., Кречетов П.П. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию // Известия РАН. Серия географическая. 1995. № 5. С. 50–57.
9. Снакин В.В., Мельченко В.Е., Алябина И.О. и др. Рельеф, геологическое строение, почвы // Окружающая среда и здоровье населения России: Атлас; глава в коллективной монографии. Москва: Паимс, 1995. С. 2-4–2-5.
10. Сушко С.В., Ананьева Н.Д., Иващенко К.В. и др. Эмиссия CO₂, микробная биомасса и базальное дыхание чернозема при различном землепользовании // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1081–1091. DOI: 10.1134/S0032180X19090090.
11. Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Лукин С.В. и др. Изменение лесостепных черноземов под влиянием лесополос на юге Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2020. № 8. С. 934–947. DOI: 10.31857/S0032180X20080031.
12. Kramareva T.N., Tikhonova E.N., Gromovik A.I. et al. Influence of various tree species on the properties of soils in the "Kamennaya steppe" // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Series: «International Forestry Forum "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions, Forestry 2021"». 2021. Vol. 875. Article no. 12020. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012020.
13. Kudeyarov V.N. An assessment of nutrient degradation in Russia's arable soils // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2015. Vol. 85(5). Pp. 397–401. DOI: 10.1134/S1019331615050032.
14. Kudeyarov V.N. Biogenic carbon balance in the territory of the Russian Federation for 1992–2017 // Paleontological Journal. 2020. Vol. 54(8). Pp. 810–818. DOI: 10.1134/S0031030120080109.
15. Shorohova E., Kapitsa E., Kuznetsov A. et al. Coarse woody debris density and carbon concentration by decay classes in mixed montane wet tropical forests // Biotropica. 2022. Article no. 13077. DOI: 10.1111/btp.13077.
16. Wu Y., Wang Q., Wang H. et al. Shelterbelt poplar forests induced soil changes in deep soil profiles and climates contributed their inter-site variations in dryland regions, Northeastern China // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10. Article no. 220. DOI: 10.3389/fpls.2019.00220.
17. Wu Y., Wang W., Wang Q. et al. Farmland shelterbelt changes in soil properties: soil depth-location dependency and general pattern in Songnen Plain, Northeastern China // Forests. 2023. Vol. 14(3). Pp. 584–604. DOI: 10.3390/f14030584.

References

1. Vasenev I.I., Gorbunova N.S., Gromovik A.I. et al. Influence of water erosion on the structure and content of labile humic substances in the structural-aggregate fractions of leached chernozems of the Central Chernozem region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;3(17):315-330. DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-3-315-330. (In Russ.).
2. Gromovik A.I., Gorbunova N.S. Formation of the tillage pan bottom horizon in black soils and its sorption features with respect to organic matter and heavy metals. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2022;22(6):877-884. DOI: 10.17308/sorpchrom.2022.22/10894. (In Russ.).
3. Ierusalimskii V.I., Rozhkov V.A. The multifunctional role of protective forest plantations. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2017;88:122-138. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-88-121-137. (In Russ.).
4. Zavarzin G.A. The role of biota in global climate change. *Fiziologiya rastenij*. 2001;48(2):306-314. (In Russ.).
5. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Khoroshaev D.A. et al. Analysis of the long-term dynamics of soil respiration in forest and meadow cenoses of the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve in the perspective of current climatic trends. *Eurasian Soil Science*. 2020;53(10):1421-1436. DOI: 10.31857/S0032180X20100112. (In Russ.).
6. Kurganova I.N., Semenov V.M., Kudeyarov V.N. Climate and land use as key factors in the stability of organic matter in soils. *Doklady Akademii nauk*. 2019;489(6):646-650. DOI: 10.31857/S0869-56524896646-650. (In Russ.).

7. Pripulina I.V., Byhovets S.S., Frolov P.V. Application of mathematical models ROMUL and Romul_hum for estimating CO₂ emission and dynamics of organic matter in albic luvisol under deciduous forest in the south of Moscow Oblast. *Eurasian Soil Science*. 2020;53(10):1480-1491. DOI: 10.31857/S0032180X20100159. (In Russ.).
8. Snakin V.V., Alyabina I.O., Krechetov P.P. Ecological assessment of soil resistance to anthropogenic impact. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 1995;5:50-57. (In Russ.).
9. Snakin V.V., Mel'chenko V.E., Alyabina I.O. et al. Relief, geological structure, soils. Environment and public health in Russia: Atlas; chapter in a collective monograph. Moscow: Pains Publishers; 1995:2-4–2-5. (In Russ.).
10. Sushko S.V., Ananyeva N.D., Ivashhenko K.V. et al. Soil CO₂ emission, microbial biomass, and basal respiration of chernozems under different land uses. *Eurasian Soil Science*. 2019;52(9):1091-1100. DOI: 10.1134/S0032180X19090090. (In Russ.).
11. Chendev Ju.G., Gennadiev A.N., Lukin S.V. et al. Change of forest-steppe chernozems under the influence of shelter belts in the south of the Central Russian Upland. *Eurasian Soil Science*. 2020;53(8):1033-1045. DOI: 10.31857/S0032180X20080031. (In Russ.).
12. Kramareva T.N., Tikhonova E.N., Gromovik A.I. et al. Influence of various tree species on the properties of soils in the "Kamennaya steppe". In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Series: «International Forestry Forum "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions, Forestry 2021"». 2021;875:12020. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012020.
13. Kudayarov V.N. An assessment of nutrient degradation in Russia's arable soils. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2015;85(5):397-401. DOI: 10.1134/S1019331615050032.
14. Kudayarov V.N. Biogenic carbon balance in the territory of the Russian Federation for 1992-2017. *Paleontological Journal*. 2020;54(8):810-818. DOI: 10.1134/S0031030120080109.
15. Shorohova E., Kapitsa E., Kuznetsov A. et al. Coarse woody debris density and carbon concentration by decay classes in mixed montane wet tropical forests. *Biotropica*. 2022:13077. DOI: 10.1111/btp.13077.
16. Wu Y., Wang Q., Wang H. et al. Shelterbelt poplar forests induced soil changes in deep soil profiles and climates contributed their inter-site variations in dryland regions, Northeastern China. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:220. DOI: 10.3389/fpls.2019.00220.
17. Wu Y., Wang W., Wang Q. et al. Farmland shelterbelt changes in soil properties: soil depth-location dependency and general pattern in Songnen Plain, Northeastern China. *Forests*. 2023;14(3):584-604. DOI: 10.3390/f14030584.

Информация об авторах

Н.С. Горбунова – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», vilian@list.ru.

Е.А. Высоцкая – доктор биологических наук, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», murka1979@mail.ru.

С.С. Шешнищан – кандидат биологических наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», sheshnitsan@gmail.com.

В.Д. Постолов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры землеустройства и ландшафтного проектирования ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», proect@landman.vsau.ru.

Information about the authors

N.S. Gorbunova, Candidate of Biological Sciences, Docent, the Dept. of Ecology and Land Resources, Voronezh State University, vilian@list.ru.

E.A. Vysotskaya, Doctor of Biological Sciences, Professor, the Dept. of Processes and Equipment for Processing Production, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, murka1979@mail.ru.

S.S. Sheshnitsan, Candidate of Biological Sciences, Docent, the Dept. of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, sheshnitsan@gmail.com.

V.D. Postolov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Land Management and Landscape Design, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, proect@landman.vsau.ru.

Статья поступила в редакцию 15.09.2024; одобрена после рецензирования 26.10.2024; принята к публикации 10.11.2024.

The article was submitted 15.09.2024; approved after reviewing 26.10.2024; accepted for publication 10.11.2024.

© Горбунова Н.С., Высоцкая Е.А., Шешнищан С.С., Постолов В.Д., 2024
