

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-119-123>  
УДК: 630\*266:631.445.4(470.324)

С.С. Шешницан<sup>1\*</sup>, Н.С. Горбунова<sup>1,2</sup>,  
А.М. Бахтин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская пл., 1

\*Автор для переписки: sheshnitsan@gmail.com

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1025032000060-3-1.5.1 "Биогеохимические закономерности динамики пулов и потоков углерода в репрезентативных экосистемах Центральной лесостепи в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий" (FZUR-2026-0004).

**Вклад авторов:** Шешницан С.С.: руководство исследованием, ресурсы, администрирование проекта, визуализация, создание рукописи и ее редактирование. Горбунова Н.С.: методология, проведение исследований, верификация данных, формальный анализ, создание черновика рукописи. Бахтин А.М.: проведение исследований, верификация данных.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Шешницан С.С., Горбунова Н.С., Бахтин А.М. Влияние защитных лесных насаждений на содержание углерода и азота в черноземах Каменной степи. *Овощи России*. 2026;(1):119-123. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-119-123>

**Поступила в редакцию:** 15.09.2025

**Принята к печати:** 22.11.2025

**Опубликована:** 16.03.2026

Sergey S. Sheshnitsan<sup>\*</sup>, Nadezhda S. Gorbunova<sup>1,2</sup>,  
Andrei M. Bakhtin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation

<sup>2</sup>Voronezh State University Universitetskaya square, 1, Voronezh city, 394018, Russian Federation

\*Corresponding Author: sheshnitsan@gmail.com

**Funding.** The study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 1025032000060-3-1.5.1 "Biogeochemical patterns of carbon pool and flux dynamics in representative ecosystems of the Central Forest-Steppe under climate change and anthropogenic impacts" (FZUR-2026-0004).

**Authors' Contributions.** Sheshnitsan S.S.: supervision, resources, project administration, visualization, writing – review & editing. Gorbunova N.S.: methodology, investigation, validation, formal analysis, writing – original draft. Bakhtin A.M.: investigation, validation.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**For citations:** Sheshnitsan S.S., Gorbunova N.S., Bakhtin A.M. Influence of forest shelterbelts on the soil carbon and nitrogen content in the chernozems of the Kamennaya steppe. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):119-123. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-119-123>

**Received:** 15.09.2025

**Accepted for publication:** 22.11.2025

**Published:** 16.03.2026

# Влияние защитных лесных насаждений на содержание углерода и азота в черноземах Каменной степи

Check for updates



## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Защитные лесные насаждения в условиях степной зоны выполняют важную роль в стабилизации агроландшафтов, влияя на водный режим, гумусообразование и биогеохимический цикл почв. Однако вопросы их влияния на содержание углерода и азота в черноземах остаются недостаточно изученными.

**Материал и методика.** Исследования проведены в ПЗ «Каменная степь» по трансекте, заложенной через лесополосу и прилегающие пашни. Определяли содержание общего углерода и азота в почвенном профиле и их пространственное распределение в зависимости от рельефа и экспозиции склонов.

**Результаты.** Показано, что лесополосы способствуют интенсивному накоплению органического вещества и формированию сильно гумусированных разновидностей чернозёмов. Среднее содержание общего углерода и азота под древесной растительностью достоверно превышает их уровень в агрочерноземах. В пашнях отмечается усиленная минерализация органического вещества, вынос элементов с урожаем и деградация почв до среднегумусированных типов. Пространственное распределение углерода и азота определяется не только землепользованием, но и микрорельефом, направлением доминирующих ветров и условиями снегозадержания.

**Заключение.** Защитные лесные насаждения в агроландшафте являются ключевым фактором поддержания плодородия чернозёмов и повышения их экологической устойчивости. Полученные результаты подчеркивают важность сохранения и расширения системы лесополос как элемента устойчивого землепользования.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лесополосы, черноземы, общий углерод, общий азот, трансекта

# Influence of forest shelterbelts on the soil carbon and nitrogen content in the chernozems of the Kamennaya steppe

## ABSTRACT

**Relevance.** Forest shelterbelts in the steppe zone play a crucial role in stabilizing agrolandscapes by influencing the water regime, humus formation, and the biogeochemical cycle of soils. However, their impact on the carbon and nitrogen content of Chernozems remains insufficiently studied.

**Methodology.** The research was conducted in the Kamennaya Steppe Nature Reserve along a transect crossing a forest shelterbelt and adjacent arable fields. Total carbon and nitrogen contents were determined within the soil profile, as well as their spatial distribution in relation to topography and slope exposure.

**Results.** The results show that forest shelterbelts promote intensive organic matter accumulation and the development of highly humus-enriched Chernozems. Mean total carbon and nitrogen contents under forest vegetation significantly exceeded their levels in AgroChernozems. In contrast, arable soils were characterized by enhanced mineralization of organic matter, nutrient removal with crop harvests, and degradation to moderately humus-enriched types. The spatial distribution of carbon and nitrogen was influenced not only by land use but also by microrelief, prevailing wind directions, and snow accumulation conditions. Forest shelterbelts in agrolandscapes represent a key factor in maintaining the fertility of Chernozems and enhancing their ecological stability.

**Conclusion.** The findings emphasize the importance of preserving and expanding forest shelterbelt systems as an element of sustainable land use.

## KEYWORDS:

shelterbelts, chernozems, total carbon, total nitrogen, transect

### Введение

В современной научной литературе накоплен значительный массив исследований, посвящённых влиянию лесных экосистем на свойства почвенного покрова [1]. Одним из ключевых эффектов функционирования лесных экосистем является усиление интенсивности и продуктивности биологического круговорота [2, 3, 4]. Этот фактор стимулировал дальнейшие углублённые исследования, которые показали формирование в лесных условиях наиболее благоприятной среды для активных процессов гумусонакопления. К числу определяющих механизмов относятся непрерывное поступление органического вещества в виде растительного опада и отмирающих корней [4, 5, 6].

Важным следствием развития лесных сообществ является улучшение водного режима почв, проявляющееся в более продолжительном сохранении влаги после выпадения осадков, интенсивном накоплении снежного покрова и его замедленном таянии. При этом отмечается закономерное усиление данных процессов с возрастом насаждений [7]. В ряде исследований также зафиксировано положительное влияние лесной растительности на структуру и биомассу микробных сообществ [5]. Дополнительно доказана способность защитных лесных насаждений снижать интенсивность процессов водной эрозии и дефляции [8, 9], что в конечном счёте положительно отражается на урожайности сельскохозяйственных культур [10].

Наряду с этим, особую роль полеззащитные лесные насаждения имеют в процессах депонирования углерода, что подтверждается многочисленными работами [11, 12, 13]. В совокупности эти факты подчёркивают актуальность исследований, направленных на изучение влияния лесных насаждений на химические свойства почв, включая чернозёмы. В связи с этим целью настоящей работы стало выявление влияния длительно функционирующей полеззащитной лесной полосы на общее содержание углерода и азота в условиях Каменной степи.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследования была выбрана лесополоса № 43, расположенная в южной части ГПЗ «Каменная степь» (Таловский район Воронежской области), и также прилегающие к ней пахотные угодья. Возраст насаждения лесной полосы превышает 120 лет, что позволяет оценить длительное воздействие лесной растительности на трансформацию процессов почвообразования. Через лесную полосу шириной 88 м, ориентированную с севера на юг, была заложена трансекта с запада на восток, как представлено на рисунке

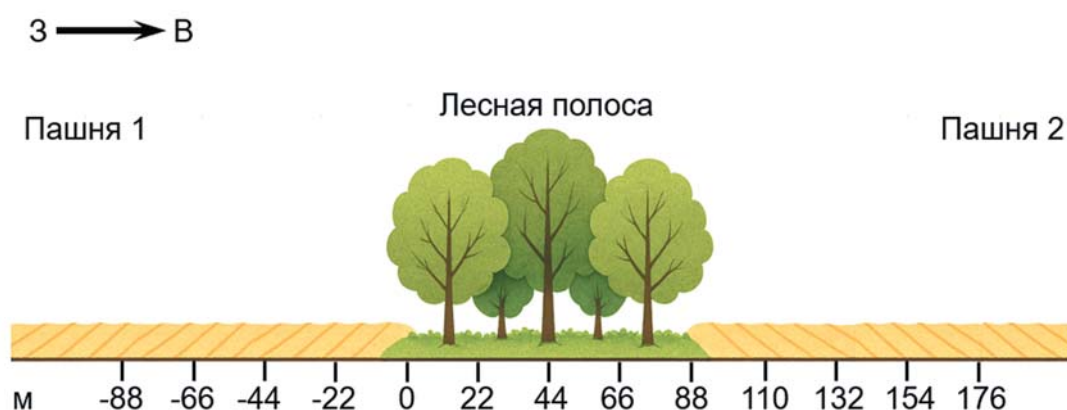


Рис. 1 Схема расположения трансекты в градиенте «пашня – лесная полоса» с точками отбора проб  
Fig. 1. Scheme of the transect layout along the “arable field – forest shelterbelt” gradient with sampling points

1. Точки отбора проб были заложены через равные расстояния 22 м. В каждой точке в трехкратной повторности проводился отбор проб почв почвенным буром через каждые 10 см.

Образцы почв доставляли в лабораторию, высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и определяли содержание общего углерода и азота в почвах методом сухого сжигания на элементном анализаторе ECS 8024 NC Soil Special. Для этого пробы почвы предварительно просеивались через сито с диаметром ячеек 2 мм и перемешивались. Из гомогенизированной пробы отбиралось 30-80 мг почвы в зависимости от предполагаемого содержания углерода и помещалась в оловянную капсулу размером 5×9 мм. Капсулу аккуратно, но плотно скручивали в шарик и загружали в автоматический автосемплер элементного анализатора. Прибор запускали и, посредством каталитического сжигания капсулы с почвой при температуре 1000 °С. Образующиеся газообразные продукты сжигания разделяли методом газовой хроматографии и количественно определяли с помощью детектора по теплопроводности высокого разрешения. Каждую пробу почвы анализировали в трехкратной повторности. Полученные данные пересчитывали на сухую почву с учетом гигроскопической влажности. Статистическая обработка полученных аналитических результатов была выполнена в программе Microsoft Excel.

### Результаты и обсуждение

Анализ содержания общего углерода в чернозёмах и агрочернозёмах исследуемой трансекты подтвердил ранее установленные закономерности накопления данного элемента в почвах лесополосы. Максимальные значения фиксировались в верхнем гумусовом горизонте (0–10 см), где содержание углерода достигало 8,59%, минимальные – 4,72%, при среднем значении  $6,56 \pm 0,62\%$  (табл. 1). Эти результаты свидетельствуют о ведущей роли лесной растительности в аккумуляции органического вещества и процессах гумусообразования. Формирование благоприятных почвообразовательных условий способствует развитию сильно гумусированных разновидностей почв.

В агроэкосистемах наблюдается иная динамика. Регулярная агротехническая обработка приводит к усиленной минерализации органического вещества, сопровождающейся его потерями. Существенную роль играет и систематический вынос питательных элементов с урожаем, что обуславливает снижение запасов как общего углерода, так и азота. В связи с этим максимальное содержание общего углерода в агрочернозёмах не превышало 4,82% в горизон-

Таблица 1. Статистические показатели содержания общего углерода (%) в почвах  
Table 1. Statistical indicators of total carbon content (%) in soils

Глубина, см	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %
	Пашня 1, n = 2				Лесополоса №43, n = 5				Пашня 2, n = 4			
0-10	4,08±0,07	4,01	4,14	2,21	6,56±0,62	4,72	8,59	21,2	4,69±0,06	4,57	4,82	2,35
10-20	4,20±0,06	4,14	4,26	1,90	6,00±0,40	4,76	6,94	14,7	4,70±0,05	4,58	4,83	2,34
20-30	4,11±0,19	3,92	4,30	6,57	5,25±0,39	4,11	6,28	16,6	4,81±0,14	4,49	5,13	5,61
30-40	3,61±0,33	3,28	3,93	12,7	4,54±0,32	3,68	5,56	15,6	4,11±0,26	3,44	4,68	12,4
40-50	3,29±0,34	2,95	3,63	14,6	3,96±0,09	3,85	4,21	4,29	3,04±0,28	2,90	4,04	18,4
50-60	3,29±0,31	2,98	3,60	13,4	3,06±0,27	2,41	3,78	19,6	2,75±0,25	2,55	3,54	18,5
60-70	3,29±0,16	3,13	3,44	6,69	2,82±0,35	1,89	3,67	27,7	2,90±0,07	2,77	3,08	4,48
70-80	2,84±0,01	2,84	2,84	0,35	2,71±0,38	1,34	3,42	31,7	2,70±0,24	2,21	3,17	17,4
80-90	2,86±0,05	2,81	2,90	2,10	2,91±0,33	1,67	3,49	25,4	2,64±0,26	2,18	3,12	19,7
90-100	2,69±0,03	2,66	2,71	1,49	3,03±0,16	2,56	3,42	12,2	2,98±0,10	2,78	3,27	7,05

Примечание: n – количество измерений;  $\bar{x}$  – среднее арифметическое, %;  $S_{\bar{x}}$  – ошибка среднего арифметического; min – минимальное значение; max – максимальное значение; V – коэффициент вариации, %

те 0–10 см, а средние значения составили  $4,08 \pm 0,07\%$  (пашня № 1) и  $4,69 \pm 0,06\%$  (пашня № 2) (табл. 3.4). Указанные показатели отражают деградацию агрочернозёмов до среднегумусированных разновидностей.

Вертикальное распределение общего углерода характеризуется постепенным снижением его содержания с глубиной (рис. 2). Однако в горизонте 90–100 см выявлено некоторое повышение концентрации элемента, наиболее выраженное в лесополосе ( $3,03 \pm 0,16\%$ ) и пашне № 2 ( $2,98 \pm 0,10\%$ ). Данный эффект обусловлен присутствием карбонатов в почвенном растворе, поскольку применяемая методика фиксирует валовое содержание углерода, включая его карбонатную форму.

Помимо общих закономерностей, связанных с влиянием распашки, на пространственное распределение углерода в почвах заметное воздействие оказывают лесные насаждения [14-16]. Максимальные значения содержания углерода зафиксированы на границе лесополосы с пашней в навет-

ренной части, тогда как минимальные значения отмечены на расстоянии 44 м от границы лесополосы в пределах пашни № 1 (рис. 2). Статистически достоверное снижение содержания общего углерода в пашне № 1 по сравнению с пашней № 2 объясняется морфологией рельефа: трансекта заложена на слабопологом склоне восточной экспозиции. В данных условиях углерод подвергается латеральной миграции с верхней части водораздела до границы лесополосы, где, попадая в более благоприятные условия, начинает активно накапливаться.

Как отмечалось выше, в пределах лесополосы наблюдается интенсивное накопление органического вещества, что обуславливает увеличение содержания общего углерода в 1,5–2 раза по сравнению с пашнями. Однако далее, на противоположной границе лесополосы, содержание углерода вновь снижается, достигая 4,57% на расстоянии 176 м, что связано с влиянием перераспределения вещества вниз по склону, даже несмотря на незначительный уклон.

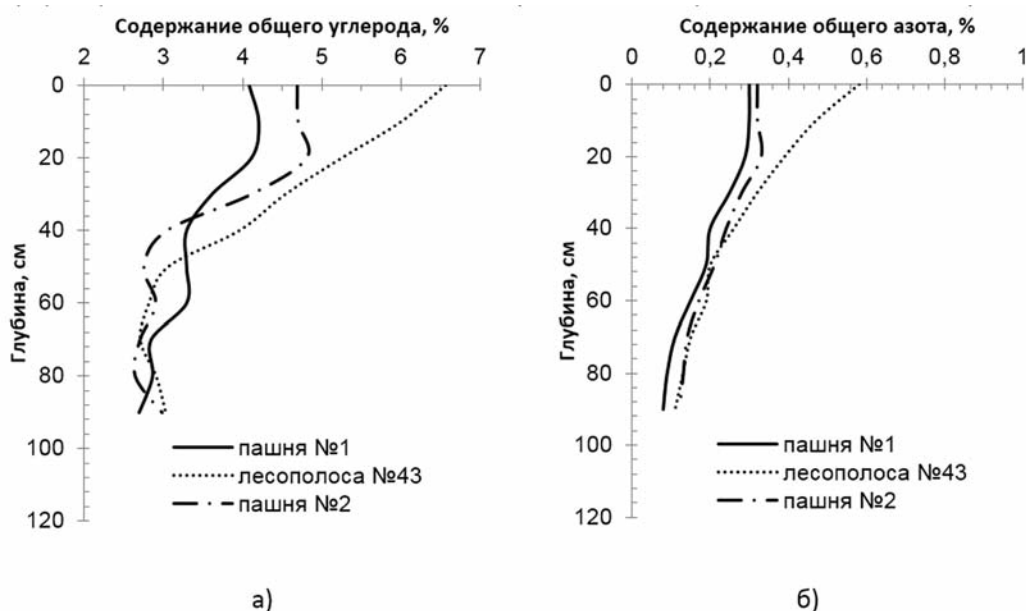


Рис. 2. Распределение общего углерода и азота в черноземах и агрочерноземах.  
Fig. 2. Distribution of total carbon and nitrogen in Chernozems and Agrochernozeems.

Таблица 2. Статистические показатели содержания общего азота (%) в почвах  
 Table 2. Statistical indicators of total nitrogen content (%) in soils

Глубина, см	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	min	max	V, %
	Пашня 1, n = 2				Лесополоса №43, n = 5				Пашня 2, n = 4			
0-10	0,30±0,03	0,27	0,32	13,3	0,58±0,07	0,32	0,74	27,6	0,32±0,01	0,30	0,33	6,25
10-20	0,30±0,01	0,29	0,31	3,33	0,47±0,04	0,32	0,53	19,1	0,32±0,01	0,30	0,35	6,25
20-30	0,29±0,02	0,27	0,30	6,89	0,39±0,03	0,28	0,48	20,5	0,33±0,14	0,31	0,34	3,03
30-40	0,25±0,02	0,23	0,26	8,00	0,32±0,02	0,25	0,38	15,6	0,28±0,01	0,24	0,31	10,7
40-50	0,20±0,01	0,20	0,20	5,00	0,26±0,02	0,22	0,30	15,4	0,24±0,01	0,21	0,27	12,5
50-60	0,19±0,01	0,18	0,19	5,26	0,20±0,02	0,17	0,25	20,0	0,21±0,01	0,18	0,23	14,3
60-70	0,15±0,01	0,14	0,16	6,67	0,19±0,02	0,12	0,23	26,3	0,17±0,02	0,13	0,20	17,6
70-80	0,11±0,01	0,11	0,11	9,09	0,15±0,02	0,09	0,21	33,3	0,14±0,02	0,09	0,17	21,4
80-90	0,09±0,01	0,09	0,10	11,1	0,13±0,03	0,09	0,23	46,2	0,13±0,03	0,07	0,19	38,5
90-100	0,08±0,02	0,06	0,10	37,5	0,11±0,02	0,07	0,18	36,4	0,12±0,03	0,06	0,19	41,7

Примечание: обозначения те же, что в таблице 1.

Поскольку общий азот представлен преимущественно в составе органической фракции, связанной с соединениями гумуса [17], его содержание и пространственно-профильное распределение закономерно коррелируют с количеством общего углерода. Соответственно, наблюдаются сходные тенденции как в вертикальной структуре почвенного профиля, так и в латеральном распределении. Среднее содержание общего азота в чернозёмах под древесной растительностью составляет 0,58±0,07%, что статистически достоверно превышает его уровень как в пашне № 1 (0,30±0,03%), так и в пашне № 2 (0,32±0,01%) (табл. 2).

Накопление биогенных элементов в верхних горизонтах почв связано с процессами гумусообразования, гумусонакопления и другими биологическими механизмами, определяющими формирование органогенной составляющей почвенного профиля [18-20]. По мере углубления данные процессы замедляются, что отражается в постепенном снижении содержания элементов.

Особый интерес представляет пространственная дифференциация содержания углерода и азота на западной границе лесополосы № 43 и прилегающей пашни. Здесь общее содержание углерода достигает 8,59%, а азота – 0,68%, что примерно в два раза выше значений, зафиксированных на восточной границе лесополосы и пашни, где их содержание составило соответственно 4,72% и 0,32%. Данное различие объясняется климатическими и микрорельефными факторами. На западной границе формируется более выраженный снежный шлейф в холодный период за счёт преобладающего направления ветров, что обеспечивает благоприятные условия для влагонакопления. В результате здесь наблюдается более интенсивное развитие растительности, выступающей основным источником поступления органического вещества, углерода и азота. На восточной границе лесополосы и пашни, напротив, отмечается меньшее снегонакопление, а весной здесь происходит более быстрое снеготаяние. Вследствие интенсивного солнечного излучения часть влаги поступает в почвенный покров, но значительная её доля теряется через испарение, что ограничивает поступление органики и, соответственно, снижает содержание биогенных элементов.

### Заключение

Результаты проведённого исследования показывают, что экосистемы защитных лесных насаждений, являясь антропогенно сформированными, обладают существенно большей устойчивостью и стабильностью по сравнению с агроэкосистемами. Содержание общего углерода и азота в чернозёмах и агрочернозёмах трансекты демонстрирует выраженное накопление данных элементов в верхних горизонтах почвы в пределах лесополос. Лесная растительность обеспечивает постоянное поступление органического вещества, что способствует процессам гумусообразования и формированию сильно гумусированных почвенных разновидностей.

В противоположность этому, интенсивное сельскохозяйственное использование земель ведёт к усиленной минерализации органического вещества, его потерям, а также выносу углерода и азота с урожаем, что обуславливает деградацию агрочернозёмов до среднегумусированных типов. Вертикальное распределение элементов характеризуется постепенным снижением их содержания с глубиной, однако в горизонте 90–100 см фиксируется локальное возрастание общего углерода, связанное с присутствием карбонатов почвенного раствора и спецификой используемой методики анализа.

Дополнительно установлено, что пространственное распределение углерода и азота определяется не только типом землепользования, но и факторами рельефа и климата. Так, расположение трансекты на слабопологом склоне восточной экспозиции обуславливает латеральную миграцию органогенного материала, тогда как направление доминирующих ветров влияет на интенсивность снегозадержания, влагонакопления и, как следствие, на продуктивность растительного покрова. Эти факторы в совокупности формируют различия в содержании углерода и азота на границах лесополос и пашни.

Таким образом, защитные лесные насаждения в условиях Каменной степи выступают значимым фактором поддержания и увеличения содержания углерода и азота в чернозёмах, обеспечивая сохранение плодородия почв и формируя предпосылки для повышения их экологической устойчивости.

## ● Литература / References

1. Neaman A., Robinson B., Minkina T. M., Vidal K., Mench M., Krutyakov Y. A., Shapoval O. A. Feasibility of metal(loid) phytoextraction from polluted soils: the need for greater scrutiny. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2020;39(8):1469. <https://doi.org/10.1002/etc.4787>
2. Rusakova I.V. Comparative evaluation of the effects of traditional and biologized arable systems on agrochemical and biological properties and biological quality of organic matter of gray forest soil in Vladimir Opolye. *Agrohimia*. 2021;12:15-22. <https://doi.org/10.31857/S0002188121120127> <https://www.elibrary.ru/zitehy> (In Russ.)
3. Olson K.R., Gennadiev A.N. Dynamics of soil organic carbon storage and erosion due to land use change (Illinois, USA). *Eurasian Soil Sci*. 2020;53(4):436. <https://doi.org/10.1134/S1064229320040122>
4. Tang Y., Shao Q., Shi T. et al. Spatiotemporal dynamics of forest ecosystem carbon budget in Guizhou: customisation and application of the CBM-CFS3 model for China. *Carbon Balance Manage*. 2022;17:10. <https://doi.org/10.1186/s13021-022-00210-0>
5. Chernov T.I., Zhelezova A.D. The Dynamics of Soil Microbial Communities on Different Timescales. *Eurasian Soil Science*. 2020;5:643-652. <https://doi.org/10.1134/S106422932005004X>
6. Rajput V.D., Minkina T.M., Kumari A., Shende S.S., Ranjan A., Barakhov A.V., Rajput P., Sushkova S.N., Faizan M., Singh A., Khabirov I., Gromovik A., Gorbunova N., Nazarenko O., Kizilkaya R. A review on nanobioremediation approaches for restoration of contaminated soil. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2022;11(1):12020. <https://doi.org/10.18393/EJSS.990605>
7. Mikhin V.I., Taniykevich V.V., Mikhina E.A. Growth and ameliorative role of protective plantation in conditions of forest-steppe zone. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Forestry Forum "Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats, solutions"*. 2020;595:012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/595/1/012045>
8. Chendev Y.G., Gennadiev A.N., Smirnova M.A. et al. Early Stages of the Evolution of Chernozems under Forest Vegetation (Belgorod Oblast). *Eurasian Soil Sc*. 2022;55:387–403. <https://doi.org/10.1134/S1064229322040068>
9. Ebabu K., Tsunekawa A., Tsubo M. Global Analysis of cover management and support practice factors that control soil erosion and conservation. *International Soil and Water Conservation Research*. 2022;10.2:161-176. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.12.002>
10. Klimenko O.E., Klimenko N.I. Changes in the properties of crimean haplic chernozems under the impact of forest plantations. *Eurasian Soil Science*. 2021;54(5):750-762. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21050129> <https://www.elibrary.ru/komwug>
11. Mamonov D.N., Morkovina S.S., Matveev S.M., Sheshnitsan S.S., Ivetic V. Comparative evaluation of carbon sequestration accounting methods by pine-birch forest plantations in Voronezh region. *Forestry engineering journal*. 2022;12.3(47):4–15. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1> <https://www.elibrary.ru/migdll> (In Russ.)
12. Kalinitchenko V.P., Glinushkin A.P., Swidsinski A.V., Minkina T.M., Andreev A.G., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Makarenkov D.A., Ilyina L.P., Chernenko V.V., Zamulina I.V., Larin G.S., Zavalin A.A., Gudkov S.V. Thermodynamic mathematical model of the kastanozem complex and new principles of sustainable semiarid protective silviculture management. *Environmental Research*. 2021;194:110605. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110605>
13. Mitra S., Chakraborty A.J., Tareq A.M., Emran T.B., Nainu E., Khusro A., Abubakr M.I., Khandaker M.U., Osman H., Alhumaydhi F.A., Simal-Gandara J. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University – Science*. 2022;101865. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>
14. Dhillon G.S., Van Rees K.C.J. Distribution of soil organic carbon in the light and heavy fractions for six shelterbelt species and their adjacent agricultural fields in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*. 2017;97(4): 732–744. <https://doi.org/10.1139/CJSS-2017-0010>
15. Zhu M., Zhang X., Guo Y., Wu Y., Wang Q.A., Wang H., Wang W. Shelterbelts increased soil inorganic carbon but decreased nitrate nitrogen, total phosphorus, and bulk density relative to neighbor farmlands depending on tree growth, geoclimate, and soil microbes in the Northeast China Plain. *Catena*. 2023;231:107344. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107344>
16. Zazdravnykh E.A., Chendev Yu.G., Smirnova M. The influence of agroforestry on Chernozems: a case study of the Central Russian Upland. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1043(1):012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012013>
17. Pathak P., Reddy A.S. Vertical distribution analysis of soil organic carbon and total nitrogen in different land use patterns of an agro-organic farm. *Tropical Ecology*. 2021;62:386–397. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00164-3>
18. Likhanova A., Lapteva E.M., Kuznetsova E.G., Deneva S.V. Formation of organic soil horizons during the initial pedogenesis in the taiga zone of the European Russian Northeast. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;862:012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012007>
19. Milanovskii E.Yu., Shein E. Functional role of amphiphilic humus components in humus structure formation and soil genesis. *Eurasian Soil Science*. 2002;35(10):1064–1075.
20. Nankova M.I., Filcheva E.G. Reserves of nutrients and soil organic components of Haplic Chernozems. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 2020;11(2):139–152. <https://doi.org/10.30574/GSCBPS.2020.11.2.0119>

## Об авторах:

**Сергей Сергеевич Шешницан** – кандидат биол. наук, доцент, <http://orcid.org/0000-0002-8027-855X>, SPIN-код: 6984-7154, автор для переписки, sheshnitsan@gmail.com  
**Надежда Сергеевна Горбунова** – кандидат биол. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-7986-8106>, SPIN-код: 6375-0292  
**Андрей Михайлович Бахтин** – аспирант, <https://orcid.org/0009-0003-9267-5901>, SPIN-код: 5178-3430, bakhtin\_2019@inbox.ru

## About the Authors:

**Sergey S. Sheshnitsan** – Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor, <http://orcid.org/0000-0002-8027-855X>, SPIN-code: 6984-7154, Correspondence Author, sheshnitsan@gmail.com  
**Nadezhda S. Gorbunova** – Cand. Sci (Biol.), Assistant Professor, <https://orcid.org/0000-0002-7986-8106>, SPIN-code: 6375-0292  
**Andrei M. Bakhtin** – Postgraduate Student, <https://orcid.org/0009-0003-9267-5901>, SPIN-code: 5178-3430, bakhtin\_2019@inbox.ru