

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Оригинальная научная статья

УДК 631.442.2:631.484

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-116-124>



**Оценка состояния органического вещества и физических свойств
постагрогенной дерново-подзолистой почвы и ее пахотного аналога**

**Борис Анорьевич Борисов, Олег Евгеньевич Ефимов, Ольга Владимировна Елисеева,
Николай Викторович Минаев, Артем Анатольевич Прохоров**

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Борисов Борис Анорьевич, borisov@rgau-msha.ru

Аннотация

Почвы часто по разным причинам выходят из сельскохозяйственного оборота, при этом около 1/4 залежных почв в мире являются российскими, преимущественно расположенными в таежно-лесной зоне. Во время нахождения в залежи в почвах происходят изменения, направленность которых обусловлена сочетанием различных факторов, поэтому для определения целесообразности или очередности возврата залежных почв в пашню актуальной является оценка важнейших показателей их плодородия. С этой целью проведено сравнительное исследование показателей состояния органического вещества и физических свойств пахотной дерново-подзолистой почвы и ее постагрогенного аналога, находящегося более 20 лет под залежью. Отмечено достоверное увеличение содержания углерода легкой фракции органического вещества в слое 0-10 см залежной почвы по сравнению с соответствующим горизонтом пахотного аналога. В горизонте 10-20 см это увеличение проявилось в виде тенденции, также проявилась тенденция повышения содержания органического углерода (общего гумуса) в бывшем пахотном слое почвы залежи. Увеличение данных показателей состояния органического вещества обусловлено, по-видимому, ростом количества растительных остатков в результате сукцессии естественной травянистой растительности по сравнению с количеством послеуборочных остатков на пашне. В залежной почве также наблюдалось увеличение количества макроагрегатов, агрономически ценных агрегатов, водопрочности макро- и микроагрегатов по сравнению с пахотной почвой. Очевидно, такое улучшение показателей структурного состояния связано с увеличением гумусированности и с отсутствием механической обработки почв, способствующей разрушению агрегатов. Почва залежи по сравнению с пахотной имела достоверно более низкую плотность и плотность твердой фазы, что объясняется более высоким содержанием в ней легкой фракции органических веществ, а также лучшей структурой. Полученные результаты позволяют оценить характер изменений показателей плодородия дерново-подзолистой почвы в результате пребывания в залежном состоянии. Показатель содержания легкой фракции органического вещества является более ранним индикатором восстановления почв под залежью по сравнению с общим содержанием углерода в почве, что позволяет определить целесообразность и очередность возвращения залежных почв в пашню.

Ключевые слова

залежь, постагрогенные почвы, сукцессия, легкая фракция органического вещества почв, физические свойства, агрегатное состояние

Благодарности

Статья подготовлена по итогам исследований в рамках программы «Приоритет 2030» по направлению научного исследования «Новые технологии в сельском хозяйстве»

Для цитирования

Борисов Б.А., Ефимов О.Е., Елисеева О.В., Минаев Н.В., Прохоров А.А. Оценка состояния органического вещества и физических свойств постагрогенной дерново-подзолистой почвы и ее пахотного аналога. *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 1 (4). С. 116-124. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-116-124>

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-116-124>

Assessment of organic matter state and physical properties of postagrogenic sod-podzolic soil and its arable analogue

Boris A. Borisov, Oleg E. Efimov, Olga V. Eliseeva, Nikolay V. Minaev, Artem A. Prokhorov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Boris A. Borisov; borisov@rgau-msha.ru

Abstract

Land is often withdrawn from agriculture for various reasons, about 1/4 of the world's fallow land is in Russia, mainly in the taiga forest zone. Some changes, determined by a combination of various factors, take place in fallow land. Therefore, in order to determine the expediency or priority of returning fallow land to arable land, it is relevant to assess the main indicators of its fertility. To this end, a comparative study of the organic matter and physical properties of an arable sod-podzolic soil and its post-agricultural analogue, which has been fallow for more than 20 years, was carried out. A reliable increase in the carbon content of the light fraction of organic matter in the 0-10 cm layer of the fallow soil was observed in comparison with the corresponding horizon of the arable analogue. In the 10-20 cm horizon this increase was manifested in the form of a tendency, also the tendency of increase in the content of organic carbon (total humus) in the former arable layer of the fallow soil was manifested. The increase in these indicators of the state of organic matter is apparently due to the increase in the amount of plant residues as a result of the succession of natural herbaceous vegetation compared to the amount of post-harvest residues on arable land. The fallow soil also showed an increase in the number of macroaggregates, agronomically valuable aggregates and the water holding capacity of macro- and microaggregates compared to the arable soil. Obviously, such an improvement in the structural condition indicators is related to the increase in humus content and the absence of mechanical tillage, which favours the destruction of aggregates. The fallow soil in comparison with the arable soil had reliably lower density and density of solid phase, which is explained by higher content of light fraction of organic matter in it, as well as better structure. The obtained results allow to assess the nature of changes in fertility indicators of sod-podzolic soil as a result of staying in fallow condition. The indicator of the content of the light fraction of organic matter is an earlier indicator of the recovery of the fallow soil compared to the total carbon content in the soil, which allows to determine the expediency and priority of the return of fallow soils to arable land.

Keywords

fallow land, fallow soil, postagrogenic soils, succession, light fraction of soil organic matter, physical properties, aggregate state

Acknowledgements

The article was prepared based on the results of research within the framework of the Priority 2030 Program in the research area "New Technologies in Agriculture"

For citation

Borisov B.A., Efimov O.E., Eliseeva O.V., Minaev N.V., Prokhorov A.A. Assessment of organic matter state and physical properties of postagrogenic sod-podzolic soil and its arable analogue. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;1(4):1-10. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-4-116-124>

Введение Introduction

Переход пахотных земель в залежное состояние является достаточно распространенным явлением. Площадь залежных земель в мире составляет примерно 220 млн га [1], из них в России под залежью находятся около 4,9 млн га [2]. При этом преобладающие площади залежных земель России расположены в таежно-лесной зоне [3]. Большинство залежных участков представлено маргинальными почвами, находящимися в районах с неблагоприятными экологическими условиями

для сельскохозяйственного производства или почвами, подверженными процессам деградации [3]. После снятия антропогенного воздействия происходит смена растительности и развиваются новые процессы почвообразования, в результате чего меняются свойства почв на всех уровнях их структурной организации, однако характер этой трансформации определяется разными факторами, а изменения могут идти в разных направлениях [4]. В результате восстановления естественной растительности на постагrogenных почвах начинается процесс их самовосстановления, происходящий в направлении исходного зонального типа. Этот

процесс заключается в восстановлении морфологических признаков, агрегатного состояния и химических свойств, характерных для почв без прямого антропогенного вмешательства. В залежных почвах по сравнению с пахотными возрастает доля макроагрегатов и снижается доля микроагрегатов, происходит увеличение содержания агрономически ценных агрегатов размером 0,25-10 мм [5].

Постагрогенные сукцессии обычно способствуют нарастанию массы корней, усилению биологической активности, увеличению содержания органического вещества почв, улучшению агрегатного состояния пахотного слоя [3, 6, 7]. Сравнительное исследование постагрогенных серых лесных и черноземных почв показало, что на серых лесных почвах под залежью происходил значительно более высокий прирост содержания почвенного органического углерода по сравнению с черноземом [8].

Углерод легкой фракции органического вещества, а также углерод, связанный с макроагрегатами, могут служить диагностическими фракциями почвенного органического вещества, реагирующими на изменения характера землепользования [9, 10]. При залегании пахотных почв на склонах отмечается увеличение содержания легкой фракции в нижних частях склонов по сравнению с верхними за счет смыва при водной эрозии, при переходе почв в залежное состояние различия между верхними и нижними частями склонов по содержанию легкой фракции постепенно нивелируются [11, 12].

Преобразование пахотных земель в пастбища и нахождение их в течение 29 лет под травянистой растительностью привели к относительно высокому накоплению органического углерода в почвенных профилях, особенно на глубине 0-40 см. При этом на изменение характера землепользования реагировали в первую очередь лабильные фракции органического углерода – такие, как водорастворимое органическое вещество и легкая фракция [13].

Целью данной работы является установление изменений показателей плодородия дерново-подзолистой почвы в результате длительного нахождения в залежи: состояния органического вещества, физических свойств и агрегатного состояния.

Методика исследований

Research method

Объектом исследований являлась дерново-неглубокоподзолистая тяжелосуглинистая почва на покровном суглинке, залегающая на двух соседних полях северо-восточной экспозиции, разделенных ложиной в Волоколамском районе Московской области. Одно из полей используется под пашней в зернотравяном севообороте, другое поле находится под залежью в течение 21 года, на нем произошла сукцессия травянистой растительности.

Поскольку на данном поле один раз в несколько лет проводилось скашивание травянистой растительности, отмечаются только отдельные деревца березы возрастом не более 4-5 лет.

Были поставлены задачи провести на залежной почве и на ее пахотном аналоге сравнительные исследования показателей состояния органического вещества почв, их физических свойств и агрегатного состояния.

Площадки, с которых отбирали образцы почв, были приурочены к пологой приводораздельной поверхности с крутизной не более 1°, размер площадок – 20 на 20 м, повторность отбора пятикратная. Образцы были отобраны из слоев почвы 0-10 и 10-20 см, поскольку основная масса корней травянистой растительности на залежной почве сосредоточена в этих слоях, причем они значительно отличаются друг от друга по данному показателю. Для определения плотности почвы отбирали керны с помощью цилиндра диаметром 8,5 см и высотой 10 см, отбор проводили в августе 2022 г.

В образцах почв определяли содержание общего органического углерода и углерода легкоразлагаемого органического вещества (легкой фракции).

Легкая фракция представляет собой свежие и находящиеся в разной степени разложения и минерализации растительные остатки, а также собственно гумусовые вещества, не связанные с минеральной частью почвы. Препаративное выделение легкой фракции производили по методике Борисова и Ганжары [14]. Для выделения применяли две последовательные экстракции тяжелой жидкостью: раствором NaI – для первой экстракции использовали раствор плотностью 1,8 г/см³ при отношении почва: экстрагент 1:2; после центрифугирования при 5000 об/мин в течение 10 мин легкую фазу почвы отделяли от супернатанта на бумажном фильтре, переносили в центрифужную пробирку и затем, для отделения минеральных илистых частиц, выполняли повторную экстракцию раствором иодистого натрия плотностью 1,6 г/см³. Легкую фракцию на фильтре промывали дистиллированной водой и сушили при температуре 70°C.

Определение содержания органического углерода в почве и в составе легкой фракции производили путем сжигания при температуре 900°C на анализаторе Vario Micro Cube (Elementar, Langensfeld, Германия).

Определение агрегатного состава и содержания водостойких агрегатов исследуемых почв выполняли по методу Н.И. Саввинова, определение содержания илистых частиц размером <0,001 мм при гранулометрическом и микроагрегатном анализе – методом Н.А. Качинского, плотность твердой фазы – пикнометрическим методом, общую пористость – расчетным путем [15].

Дисперсионный анализ и расчет наименьшей значимой разницы Фишера производили с использованием программного комплекса STRAZ.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В таблице 1 представлены результаты определения показателей состояния органического вещества почв.

Различия по содержанию органического углерода и углерода легкой фракции между слоями 0-10 и 10-20 см пахотной почвы были очень незначительными, так как эти слои относятся к ежегодно перемешиваемому пахотному горизонту. Поскольку преобладающее количество корней естественной травянистой растительности расположено в слое 0-10 см, различия по этим показателям между слоями 0-10 и 10-20 см залежной почвы проявились как заметная тенденция, однако, по результатам дисперсионного анализа, оказались недостоверными. Также заметное, но недостоверное увеличение содержания органического углерода наблюдалось в слое 0-10 см залежной дерново-подзолистой почвы по сравнению с таким же слоем пахотного аналога. Эта тенденция увеличения содержания гумуса в залежной почве, по-видимому, обусловлена достоверным увеличением содержания углерода легкой фракции в почве залежи по сравнению с пахотной почвой, так как легкая фракция является источником формирования гумусовых веществ. Подобные результаты

получены рядом исследователей [16-18]. Также следует отметить повышение запасов углерода легкой фракции в бывшем пахотном слое (0-20 см) залежной почвы по сравнению с таким же слоем пахотной почвы примерно на 1/3 – с 6,2 до 8,3 т/га.

В таблице 2 представлены результаты определения общих физических свойств исследуемых почвенных разностей.

В горизонте 10-20 см залежной почвы наметилась тенденция снижения плотности и плотности твердой фазы по сравнению с аналогом, оставшимся под пашней, однако это снижение было недостоверным.

Плотность и плотность твердой фазы достоверно уменьшились в слое 0-10 см почвы под залежью по сравнению с пахотным слоем обрабатываемой почвы. Такие результаты, очевидно, также объясняются преимущественным накоплением остатков корней травянистой растительности на залежи в слое 0-10 см. Различия в величине общей пористости между соответствующими слоями почв под пашней и залежью были незначительными.

В таблице 3 представлены результаты агрегатного анализа (сухое просеивание) исследуемых почв.

Из данных таблицы 3 следует, что в агрегатном составе залежной почвы в слое 0-20 см по сравнению с аналогичным слоем пахотной почвы

Таблица 1

Показатели состояния органического вещества дерново-подзолистой почвы под пашней и залежью

Угодье, горизонт	Глубина, см	Содержание органического углерода, %	Запасы органического углерода, т/га	Содержание углерода легкой фракции, %	Запасы углерода легкой фракции, т/га
Пашня, A _{пах}	0-10	1,64	43,9	0,24	6,2
	10-20	1,61		0,22	
Залежь, бывший A _{пах}	0-10	1,79	42,9	0,38	8,3
	10-20	1,66		0,29	
НСП ₀₅		0,22	-	0,11	-

Table 1

Indicators of organic matter state of sod-podzolic soil (arable and fallow)

Site, horizon	Depth, cm	Organic carbon content, %	Organic carbon stocks, tonnes/ha	Light fraction carbon content, %	Light fraction carbon stocks, tonnes/ha
Arable land, A _{ar}	0-10	1.64	43.9	0.24	6.2
	10-20	1.61		0.22	
Fallow land, former A _{ar}	0-10	1.79	42.9	0.38	8.3
	10-20	1.66		0.29	
НСП ₀₅		0.22	-	0.11	-

Таблица 2

Общие физические свойства дерново-подзолистой почвы под пашней и залежью

Угодье, горизонт	Глубина, см	Плотность почвы, г/см ³	Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	Общая пористость, %
Пашня, A _{пах}	0-10	1,34	2,64	49,2
	10-20	1,36	2,65	48,7
Залежь, бывший A _{пах}	0-10	1,22	2,51	51,0
	10-20	1,29	2,56	49,8
НСП ₀₅		0,08	0,12	-

Table 2

General physical properties of sod-podzolic soil (arable and fallow)

Site, horizon	Depth, cm	Soil density, g/cm ³	Soil particle density, g/cm ³	Total porosity, %
Arable land, A _{ar}	0-10	1.34	2.64	49.2
	10-20	1.36	2.65	48.7
Fallow land, former A _{ar}	0-10	1.22	2.51	51.0
	10-20	1.29	2.56	49.8
НСП ₀₅		0.08	0.12	-

Таблица 3

Агрегатный состав дерново-подзолистой почвы под пашней и залежью (сухое просеивание)

Угодье, горизонт	Глубина, см	Размер фракций, мм, содержание, %									
		<10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	10-0,25
Пашня, A _{пах}	0-20	25,6	12,4	8,3	7,1	5,2	6,2	5,4	8,8	21,0	53,4
Залежь, бывший A _{пах}	0-20	22,1	11,7	12,4	6,8	4,4	5,1	8,9	9,3	19,3	58,6

Table 3

Aggregate composition of sod-podzolic soil (arable and fallow) (dry sieving)

Site, horizon	Depth, cm	Fraction size, mm, content, %									
		<10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	<0.25	10-0.25
Arable land, A _{ar}	0-20	25.6	12.4	8.3	7.1	5.2	6.2	5.4	8.8	21.0	53.4
Fallow land, former A _{ar}	0-20	22.1	11.7	12.4	6.8	4.4	5.1	8.9	9.3	19.3	58.6

произошли благоприятные изменения: несколько уменьшилось содержание агрегатов размером менее 0,25 мм, то есть, увеличилось содержание макроагрегатов, а также заметно (с 53,4 до 58,4%) увеличилось содержание агрономически ценных агрегатов (10-0,25 мм).

В таблице 4 представлены результаты определения содержания водопрочных агрегатов в исследуемых почвах. Определение содержания водопрочных агрегатов, рассчитанное по результатам мокрого просеивания, показало, что в почве под залежью по сравнению с пахотным аналогом произошло снижение количества микроагрегатов (<0,25 мм) с 38,3 до 32,1% и соответствующее увеличение содержания макроагрегатов (>0,25 мм), и это также благоприятно с агрономической точки зрения. Изменения в агрегатном составе залежных почв обусловлены, очевидно, улучшением показателей состояния органического вещества в результате пребывания под залежью, как отмечается и в подобных зарубежных исследованиях [19].

Для оценки водопрочности микроагрегатов в исследуемых почвах был рассчитан фактор дисперсности по Н.А. Качинскому, определяемый по отношению содержания ила (частиц размером <0,001 мм), полученного при микроагрегатном анализе без предварительного разрушения агрегатов, к содержанию ила, полученному при гранулометрическом анализе с предварительным разрушением агрегатов. Более высокий фактор дисперсности говорит о меньшей водопрочности микроагрегатов. В пахотной почве фактор дисперсности составил 33,7%, а в залежной произошло увеличение водопрочности микроагрегатов: фактор дисперсности снизился до 26,4%.

Сравнительное исследование показателей состояния органического вещества и физических

свойств пахотной дерново-неглубокоподзолистой тяжелосуглинистой почвы на покровном суглинке и аналогичной почвы, перешедшей более 20 лет назад в залежное состояние, показало, что в слое 0-10 см залежной почвы под травянистой растительностью при очень слабом развитии древесной растительности произошло достоверное увеличение содержания легкой фракции органического вещества. Накопление легкой фракции в залежной почве обусловлено, по-видимому, более высоким поступлением опада под естественной травянистой растительностью по сравнению с поступлением послеуборочных остатков от сельскохозяйственных культур в пахотную почву. При этом преобладающее количество корневых остатков естественной травянистой растительности сосредоточено в слое 0-10 см. Кроме того, при отсутствии механической обработки почвы замедляются процессы минерализации органических остатков. Увеличение содержания общего органического углерода в залежной почве по сравнению с пахотной почвой проявилось только как тенденция.

В слое 0-10 см залежной почвы по сравнению с соответствующим слоем пахотной почвы наблюдалось достоверное снижение как плотности, так и плотности твердой фазы, что объясняется повышенным содержанием в этом слое легкой фракции органического вещества, обладающей меньшей плотностью по сравнению с минеральной частью почвы, а также лучшим агрегатным и микроагрегатным состоянием почвы под залежью, в которой по сравнению с пахотным аналогом отмечено увеличение содержания макроагрегатов, агрономически ценных агрегатов, водопрочных макро- и микроагрегатов.

Улучшение показателей структурного состояния почвы под залежью связано, очевидно,

Таблица 4

Агрегатный состав дерново-подзолистой почвы под пашней и залежью (мокрое просеивание)

Угодье, горизонт,	Глубина, см	Размер фракций, мм, содержание, %					
		5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25
Пашня, A _{пах}	0-20	12,4	8,5	10,9	11,0	18,9	38,3
Залежь, бывший A _{пах}	0-20	16,2	13,1	12,2	9,6	16,8	32,1

Table 4

Aggregate composition of sod-podzolic soil (arable and fallow) (wet sieving)

Site, horizon	Depth, cm	Fraction size, mm, content, %					
		5-3	3-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	<0.25
Arable land, A _{ar}	0-20	12.4	8.5	10.9	11.0	18.9	38.3
Fallow land, former A _{ar}	0-20	16.2	13.1	12.2	9.6	16.8	32.1

как с повышением гумусированности, поскольку гумус почвы является основным фактором, обеспечивающим оструктурирование почв, так и с отсутствием механической обработки, ведущей к разрушению почвенных агрегатов.

Выводы Conclusions

Таким образом, проведенное исследование показало заметное улучшение важных показателей плодородия дерново-неглубокоподзолистой

тяжелосуглинистой почвы за время длительного пребывания под залежью по сравнению с аналогичной почвой, остававшейся под пашней, и возможность ее возвращения в сельскохозяйственный оборот.

При этом показатель содержания легкой фракции органического вещества является более ранним индикатором восстановления почв под залежью по сравнению с общим содержанием углерода в почве, что позволяет определить целесообразность и очередность возвращения залежных почв в пашню.

Список источников

1. Kurganova I., Merino A., Lopes de Gerenyu V., Barros N. et al. Mechanisms of carbon sequestration and stabilization by restoration of arable soils after abandonment: A chronosequence study on Phaeozems and Chernozems. *Geoderma*. 2019;354:113882. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113882>
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 384 с.
3. Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Gianni L. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia. *Catena*. 2015;129:18-29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.016>
4. Гончарова О.Ю., Телеснина В.М. Биологическая активность постагрогенных почв (на примере Московской области) // Вестник Московского университета. Серия 17 «Почвоведение». 2010. № 4. С. 24-31.
5. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес Де Гереню В.О., Овсепян Л.А. и др. Изменение агрегатного состава различных типов почв в ходе залежной сукцессии // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2017. № 88. С. 47-74. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-47-74>
6. Morris S.J., Bohm S., Haile-Mariam S., Paul E.A. Evaluation of carbon accrual in afforested agricultural soils. *Global Change Biology*. 2007;13:1145-1156. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01359.x>
7. Poeplau C., Don A., Vesterdal L., Leifeld J. et al. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone—carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology*. 2011;17:2415-2427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x>
8. He Y., Xu Z., Chen C., Burton J. et al. Using light fraction and macroaggregate associated organic matters as early indicators for management-induced changes in soil chemical and biological properties in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Geoderma*. 2008;147(3-4):116-125. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.002>
9. Lavalley J.M., Soong J.L., Cotrufo M.F. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology*. 2020;26(1):261-273. <https://doi.org/10.1111/gcb.14859>

References

1. Kurganova I., Merino A., Lopes de Gerenyu V., Barros N. et al. Mechanisms of carbon sequestration and stabilization by restoration of arable soils after abandonment: A chronosequence study on Phaeozems and Chernozems. *Geoderma*. 2019;354:113882. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113882>
2. Report on the state and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2020. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotekh", 2022:384. (In Russ.)
3. Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Gianni L. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia. *Catena*. 2015;129:18-29. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.016>
4. Goncharova O.Yu., Telesnina V.M. Biological activity of post-agrogenic soils (Moscow region). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2010;4:24-31. (In Russ.)
5. Baeva Yu.I., Kurganova I.N., Lopes De Gerenyu V.O., Ovsepyan L.A. et al. Change in aggregate structure of various soil types during the succession of abandoned lands. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2017;(88):47-74. (In Russ.) <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-47-74>
6. Morris S.J., Bohm S., Haile-Mariam S., Paul E.A. Evaluation of carbon accrual in afforested agricultural soils. *Global Change Biology*. 2007;13:1145-1156. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01359.x>
7. Poeplau C., Don A., Vesterdal L., Leifeld J. et al. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone—carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology*. 2011;17:2415-2427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x>
8. He Y., Xu Z., Chen C., Burton J. et al. Using light fraction and macroaggregate associated organic matters as early indicators for management-induced changes in soil chemical and biological properties in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Geoderma*. 2008;147(3-4):116-125. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.002>
9. Lavalley J.M., Soong J.L., Cotrufo M.F. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology*. 2020;26(1):261-273. <https://doi.org/10.1111/gcb.14859>

10. Борисов Б.А., Ефимов О.Е., Елисеева О.В. Органическое вещество и физические свойства постагрогенной эродированной дерново-подзолистой почвы в сравнении с пахотным аналогом // *Почвоведение*. 2022. № 7. С. 909-917. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22070036>.
11. Gregorich E.G., Greer K.J., Anderson D.W., Liang B.C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil and Tillage Research*. 1998;47(3-4):291-302. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00117-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00117-2)
12. Hao X., Han X. – Z., Li N., Lei W. Long-term grassland restoration exerts stronger impacts on the vertical distribution of labile over recalcitrant organic carbon fractions in Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*. 2022;86:1444-1456. <https://doi.org/10.1002/saj2.20422>
13. Borisov B.A., Efimov O.E., Eliseeva O.V., Tarazanova T.V. et al. Organic matter of sod-podzolic soil after transition to a fallow state. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021:022022. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012108>
14. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Почвоведение: Практикум. М.: «ИНФРА-М», 2014. 256 с.
15. Liao J., Yang X., Dou Y., Wang B. et al. Divergent contribution of particulate and mineral-associated organic matter to soil carbon in grassland. *Journal of Environmental Management*. 2023(344):118536. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118536>
16. Chen S., Feng X., Lin Q., Liu C. et al. Pool complexity and molecular diversity shaped topsoil organic matter accumulation following decadal forest restoration in a karst terrain. *Soil Biology and Biochemistry*. 2022;166:108553. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108553>
17. Poirier V., Roumet C., Munson A.D. The root of the matter: Linking root traits and soil organic matter stabilization processes. *Soil Biology and Biochemistry*. 2018;120:246-259. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.02.016>
18. John B., Yamashita T., Ludwig B., Flessa H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*. 2005;128(1-2):63-79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.013>
19. Wang B., Xu G., Ma T., Chen L. et al. Effects of vegetation restoration on soil aggregates, organic carbon, and nitrogen in the Loess Plateau of China. *Catena*. 2023;231:107340. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107340>
10. Borisov B.A., Efimov O.E., Eliseeva O.V. Organic matter and physical properties of postagrogenic eroded soddy-podzolic soil and arable soddy-podzolic soil. *Eurasian Soil Science*. (In Russ.) 2022;7:909-917. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22070036>
11. Gregorich E.G., Greer K.J., Anderson D.W., Liang B.C. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil and Tillage Research*. 1998;47(3-4):291-302. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00117-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00117-2)
12. Hao X., Han X. – Z., Li N., Lei W. Long-term grassland restoration exerts stronger impacts on the vertical distribution of labile over recalcitrant organic carbon fractions in Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*. 2022;86:1444-1456. <https://doi.org/10.1002/saj2.20422>
13. Borisov B.A., Efimov O.E., Eliseeva O.V., Tarazanova T.V. et al. Organic matter of sod-podzolic soil after transition to a fallow state. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021:022022. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012108>
14. Ganzhara N.F., Borisov B.A., Baybekov R.F. Soil science: Workshop. M.: “INFRA-M”, 2014:256. (In Russ.)
15. Liao J., Yang X., Dou Y., Wang B. et al. Divergent contribution of particulate and mineral-associated organic matter to soil carbon in grassland. *Journal of Environmental Management*. 2023(344):118536. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118536>
16. Chen S., Feng X., Lin Q., Liu C. et al. Pool complexity and molecular diversity shaped topsoil organic matter accumulation following decadal forest restoration in a karst terrain. *Soil Biology and Biochemistry*. 2022;166:108553. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108553>
17. Poirier V., Roumet C., Munson A.D. The root of the matter: Linking root traits and soil organic matter stabilization processes. *Soil Biology and Biochemistry*. 2018;120:246-259. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.02.016>
18. John B., Yamashita T., Ludwig B., Flessa H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*. 2005;128(1-2):63-79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.013>
19. Wang B., Xu G., Ma T., Chen L. et al. Effects of vegetation restoration on soil aggregates, organic carbon, and nitrogen in the Loess Plateau of China. *Catena*. 2023;231:107340. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107340>

Сведения об авторах

Борис Анорьевич Борисов, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: borisov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5396-1695>

Олег Евгеньевич Ефимов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: efimov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/00-0002-8134-0159>

Ольга Владимировна Елисеева, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры химии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: o.eliseeva@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2513-6268>

Николай Викторович Минаев, кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: nminaev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0718-3383>

Артем Анатольевич Прохоров, ассистент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: soillab@rgau-msha.ru

Статья поступила в редакцию 21.11.2023
Одобрена после рецензирования 22.12.2023
Принята к публикации 27.12.2023

Information about the authors

Boris A. Borisov, DSc (Bio), Professor, Professor at the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: borisov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5396-1695>

Oleg E. Efimov, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: efimov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/00-0002-8134-0159>

Olga V. Eliseeva, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Chemistry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: o.eliseeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2513-6268>

Nikolay V. Minaev, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: nminaev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0718-3383>

Artem A. Prokhorov, Assistant at the Department of Soil Science, Geology and Landscape Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: soillab@rgau-msha.ru

The article was submitted to the editorial office 21 Nov 2023
Approved after reviewing 22 Dec 2023
Accepted for publication 27 Dec 2023