

УДК: [630*114.354+631.4]:574

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-97-101

К.Г. Гиниятуллин ✉
И.А. Сахабиев
Р.В. Окунев
Р.Г. Кадырова
Л.Ю. Рыжих

Казанский (Приволжский) федеральный
университет, Казань, Россия

✉ ginijatullin@mail.ru

Поступила в редакцию:
25.07.2023

Одобрена после рецензирования:
26.12.2023

Принята к публикации:
10.01.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-97-101

Kamil G. Ginijatullin ✉
Il'nas A. Sakhabiev
Rodion V. Okunev
Rezeda G. Kadyrova
Lyudmila Yu. Ryzhikh

Kazan (Volga region) Federal University,
Kazan, Russia

✉ ginijatullin@mail.ru

Received by the editorial office:
25.07.2023

Accepted in revised:
26.12.2023

Accepted for publication:
10.01.2024

Изучение в длительном лабораторном эксперименте потенциальной подверженности минерализации органического вещества постагрогенных светло-серых почв

РЕЗЮМЕ

Актуальность. С 2021 года в России начаты работы по оценке плодородия неиспользуемой пашни и ее вовлечению в сельскохозяйственный оборот. Изменение системы земледелия постагрогенных почв может привести к неконтролируемой минерализации новообразованного под залежной растительностью почвенного органического вещества (ПОВ) и значительной эмиссии CO₂ в атмосферу. Исследования характера накопления ПОВ под залежной растительностью и оценки его потенциальной подверженности минерализации являются актуальными, поскольку могут стать основой для разработки агротехнических приемов возвращения неиспользуемых земель в пахотный оборот с максимальным сохранением их плодородия.

Методы. В длительном лабораторном инкубационном эксперименте изучали динамику изменения показателей интенсивности базального и субстрат-индуцированного дыхания постагрогенных почв для оценки потенциальной подверженности минерализации ПОВ при изменении системы землепользования. Использовали послойные образцы (0–10 и 10–20 см) из старопашотных горизонтов двух залежных участков с различным гумусным состоянием. Проводили сопоставление результатов инкубационного эксперимента с результатами оценки количественного содержания и качественного состава ПОВ.

Результаты. В слое 0–10 см показатели интенсивности дыхания выше, чем в слое 10–20 см. Результаты оценки интенсивности дыхания согласуются с оценкой качественного состава ПОВ. Накопление ПОВ происходит преимущественно в верхней части постагрогенных почв за счет подвижных легкоокисляемых органических соединений фульватной природы. При разработке агротехнических приемов возвращения залежных земель в пахотный оборот необходимо ориентироваться прежде всего на технологии основной обработки, обеспечивающие максимальное сохранение накопленного в верхнем слое потенциально легкоминерализуемого ПОВ.

Ключевые слова: постагрогенные почвы, лабораторный инкубационный эксперимент, базальное дыхание почв, субстрат-индуцированное дыхание, минерализация органического вещества

Для цитирования: Гиниятуллин К.Г., Сахабиев И.А., Окунев Р.В., Кадырова Р.Г., Рыжих Л.Ю. Изучение в длительном лабораторном инкубационном эксперименте потенциальной подверженности минерализации органического вещества постагрогенных светло-серых почв. *Аграрная наука*. 2024; 378(1): 97–101. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-97-101>

© Гиниятуллин К.Г., Сахабиев И.А., Окунев Р.В., Кадырова Р.Г., Рыжих Л.Ю.

Study in a long-term laboratory experiment of the potential susceptibility to mineralization of organic matter in post-agrogenic light gray soils

ABSTRACT

Relevance. Since 2021, work has begun in Russia to assess the fertility of unused arable land and its involvement in agricultural circulation. Changes in the farming system of post-agrogenic soils can lead to uncontrolled mineralization of newly formed soil organic matter (SOM) under fallow vegetation and significant CO₂ emissions into the atmosphere. Studies of the nature of SOM accumulation under fallow vegetation and assessment of its potential susceptibility to mineralization are relevant, since they can become the basis for the development of agrotechnical methods for returning unused lands to arable circulation with the maximum preservation of their fertility.

Methods. In a long-term laboratory incubation experiment, we studied the dynamics of changes in the intensity of basal (BR) and substrate-induced respiration (SIR) in postagrogenic soils to assess the potential susceptibility to SOM mineralization with a change in land use. Layered samples (0–10 and 10–20 cm) were used from the old arable horizons of two fallow plots with different humus conditions. The results of the incubation experiment were compared with the results of assessing the quantitative content and qualitative composition of SOM.

Results. In the 0–10 cm layer, the respiration rates are higher than in the 10–20 cm layer. The results of the assessment of the respiration intensity are consistent with the assessment of the qualitative composition of SOM. The accumulation of SOM occurs mainly in the upper part of postagrogenic soils due to mobile easily oxidized organic compounds of a fulvic nature. When developing agrotechnical methods for returning fallow lands to arable circulation, it is necessary to focus primarily on basic processing technologies that ensure maximum preservation of potentially easily mineralized material accumulated in the upper layer.

Key words: postagrogenic soils, laboratory incubation experiment, basal soil respiration, substrate-induced soil respiration, mineralization of organic matter

For citation: Ginijatullin K.G., Sakhabiev I.A., Okunev R.V., Kadyrova R.G., Ryzhikh L.Yu. Study in a long-term laboratory incubation experiment of the potential susceptibility to mineralization of organic matter in post-agrogenic light gray soils. *Agrarian science*. 2024; 378(1): 97–101 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-97-101>

© Ginijatullin K.G., Sakhabiev I.A., Okunev R.V., Kadyrova R.G., Ryzhikh L.Yu.

Введение/Introduction

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации¹ 2021 года была разработана Программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации. Программа, направленная на обеспечение продовольственной безопасности страны, предусматривает проведение комплекса мероприятий, обеспечивающих восстановление плодородия почв и предотвращение сокращения площадей земель сельскохозяйственного назначения. В соответствии с данным документом (в редакции на 18 января 2023 года) к концу 2025 года должна быть дана оценка состояния плодородия 8,9 млн га неиспользуемой пашни и вовлечено к концу 2030 г. в оборот 5 млн га выбывших из оборота сельскохозяйственных угодий.

По состоянию на 1 января 2021 года неиспользуемые залежные земли оцениваются в программе в 19,4 млн га пашни — это 5,1% к общей площади земель сельскохозяйственного назначения в России. По другим данным, площадь залежей в России уже к 2008–2015 гг. оценивалась в 34–45 млн га [1–4], хотя в последнее время в некоторых регионах наблюдается устойчивая тенденция к сокращению доли залежных земель в общей площади сельскохозяйственных угодий [5]. Вполне ожидаемо, что масштабные работы по изучению состояния залежных земель и возвращению их в сельскохозяйственный оборот будут продолжены и после 2030 года.

Вместе с тем залежные земли России являются важной составляющей баланса углерода в системе «почва — растительный покров — атмосфера» [1, 6–8]. Считается, что общий дополнительный сток углерода на заброшенных пахотных землях может составлять до 155 ± 27 Мт С в год, что покрывает до 36% выбросов углекислого газа в атмосферу от сжигания ископаемого топлива [4].

Накопление новообразованного органического вещества (ОВ) под залежной растительностью происходит в основном за счет легкоминерализуемых органических соединений [9], но при возвращении залежных земель в пахотный оборот существенная часть этого ОВ может вернуться в атмосферу, что представляет достаточно серьезные глобальные экологические риски [10].

Глубокое изучение качественного состава ОВ, накопленного в постагрогенных почвах, и оценка его потенциальной подверженности минерализации являются, безусловно, актуальной задачей.

Результаты подобных исследований в будущем могут стать основой для разработки агротехнических приемов возвращения залежных почв в пахотный оборот с обеспечением минимальной минерализации новообразованного ОВ и максимального сохранения исходного плодородия постагрогенных земель.

Цели работы — в длительном лабораторном инкубационном эксперименте с образцами старопахотных горизонтов изучить по показателям почвенного дыхания потенциальную подверженность ОВ залежных почв минерализации и дать оценку влияния на данный процесс количественного содержания и качественного состава ПОВ.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Для проведения лабораторных экспериментов использовались образцы из старопахотных горизонтов светло-серой лесной почвы, находящейся под 20–25-летней залежной растительностью на территории Ботанического сада Казанского федерального университета (г. Казань, Россия).

Отбор почвенных образцов проводился в начале вегетационного периода 2022 года с глубины 0–10 и 10–20 см на двух участках массива постагрогенной почвы (площадь — 10,2 га), которые отличались по типу залежной растительности и запасам ОВ.

Участок № 1 в настоящее время находится под лиственной древесной залежной растительностью и имеет более низкий запас ОВ в старопахотном горизонте. Растительность характеризуется преобладанием молодого леса из березы повислой (*Betula pendula*) возрастом до 20 лет. Название залежного фитоценоза участка № 1 определяется как березняк землянично-осоковый.

Участок № 2 находится под травянистой залежной растительностью и характеризуется более высоким запасом ОВ в старопахотном горизонте. Для данного участка характерно доминирование разнотравного луга с преобладанием вейника наземного (*Calamagrostis epigeios* L. Roth.) и мелколепестника однолетнего (*Erigeron annuus* L. Desf.) Название фитоценоза участка — луг разнотравный, вейниково-мелколепестниковый.

В образцах проводили определение содержания органического углерода мокрым сжиганием по Тюрину ($C_{орг}$), углерода растворимого в смеси $Na_4P_2O_7 + NaOH$ ($C_{щ}$), углерода гуминовых кислот ($C_{щгк}$) и фульвокислот ($C_{щфк}$) щелочерастворимой фракции по методике Кононовой-Бельчиковой². Для определения углерода легкоокисляемого ОВ ($C_{ло}$) использовали метод ступенчатой окислительной деструкции по Хану³, основанный на частичном окислении ОВ бихроматом калия в 12 Н серной кислоте.

Все анализы проводили в трехкратной повторности.

При постановке лабораторного опыта использовали послойные образцы старопахотного горизонта — как с сохранением корневой массы (варианты опыта А), так и после удаления корней и растительных остатков (варианты опыта Б).

Схема лабораторного эксперимента представлена в таблице 1.

Таблица 1. Схема постановки лабораторного эксперимента
Table 1. Scheme of setting up a laboratory experiment

Материал старопахотного горизонта	Слой старопахотного горизонта, см	Участок отбора почвенной пробы	Варианты опыта
С корнями (А)	0–10	№ 1	1А
		№ 2	2А
	10–20	№ 1	3А
		№ 2	4А
Без корней (Б)	0–10	№ 1	1Б
		№ 2	2Б
	10–20	№ 1	3Б
		№ 2	4Б

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 14 мая 2021 года № 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» (с изм. на 18 января 2023 года).

² Кононова М.М., Бельчикова Н.П. Ускоренные методы определения состава гумуса. Почвоведение. 1961; 10: 75–87. EDN: KSCIQL

³ Chan K.Y., Bowman A., Oates A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic Paleustalf under different pasture leys. Soil Sci. 2001; 166: 61–67. <https://doi.org/10.1097/00010694-200101000-00009>

Емкости с почвой весом 500 г доводились до 60% от ПВ и хранились в герметичном гидростате над влажным песком. Периодически (1–2 раза в месяц) почва высушивалась при активном вентилировании при комнатной температуре до влажности, соответствующей 30% от ПВ, затем материал вновь увлажняли до 60% от ПВ. Контроль влажности проводили гравиметрически.

Периодическое высушивание почвы приводит к существенному стимулированию сапрофитной микрофлоры, участвующей в окислительной деструкции легкоразлагаемого ОВ в почвах, и к увеличению интенсивности минерализации ОВ в лабораторных инкубационных экспериментах [11]. Эксперимент длился 180 дней.

В ходе проведения инкубационного эксперимента измерялись показатели эмиссии углекислого газа из почвы — базальное дыхание (БД) и субстрат-индуцированное дыхание (СИД) почв⁴. В отличие от БД, характеризующего обилие только активной сапрофитной микрофлоры, величина СИД показывает (за счет внесения в почву доступного источника энергии — глюкозы) также состояние потенциально активной микробиоты [12].

Оценку величин БД и СИД проводили через 30, 90, 180 дней инкубации почвы, измерение выделяющегося углекислого газа — на газовом хроматографе Perkin Elmer (США), снабженном катарометром⁵.

Определение БД и СИД проводили в трехкратной повторности, оценку статистической значимости различий средних показателей количественного содержания и качественного состава ОВ между слоями 0–10 и 10–20 см старопашотного горизонта — на основе парного *t*-теста независимых выборок с одинаковыми или различными дисперсиями, которые оценивали по *F*-критерию.

Расчеты проводили в программе MS Excel (США).

Таблица 2. Содержание в послойных образцах (0–10 и 10–20 см) органического углерода (Сорг), щелочерастворимого углерода (Сщ), углерода гуминовых кислот (Сщгк) и фульвокислот (Сщфк) щелочерастворимой фракции, углерода легкоокисляемого ОВ (Сло)

Table 2. The content in layered samples (0–10 and 10–20 cm) of organic carbon (Corg), alkali-soluble carbon (Cс), carbon of humic acids (Cсгк) and fulvic acids (Cсфк) of the alkali-soluble fraction, carbon of easily oxidized OM (Cло)

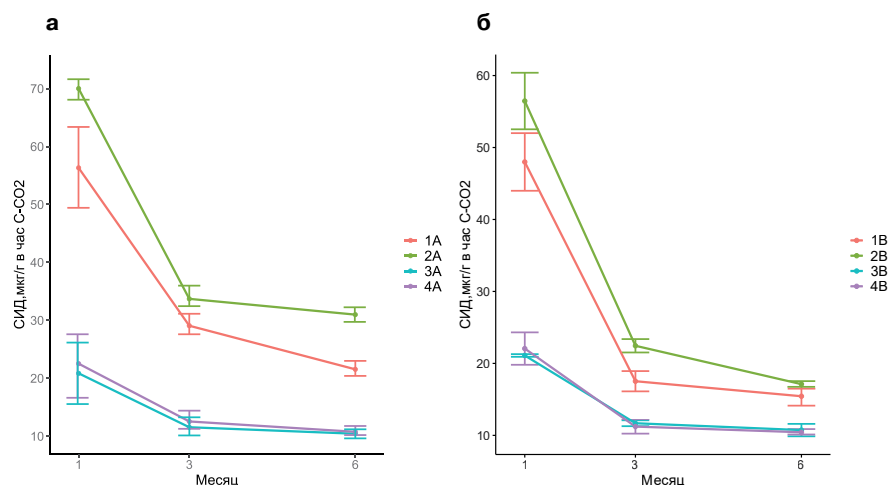
Номер участка	Варианты опыта	Слой Апах, см	С _{орг} , %	ОВ растворимое в Na ₂ P ₂ O ₇ + NaOH				С _{ло} , %
				С _щ , %	С _{щгк} , %	С _{щфк} , %	С _{ло} , %	
№ 1	1А, 1Б	0–10	0,99 ± 0,03	0,57 ± 0,02	0,25 ± 0,01	0,32 ± 0,02	0,60 ± 0,02	
	2А, 2Б	10–20	0,62 ± 0,03	0,38 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,30 ± 0,01	
№ 2	3А, 3Б	0–10	1,54 ± 0,03	0,69 ± 0,02	0,28 ± 0,02	0,42 ± 0,02	0,76 ± 0,02	
	4А, 4Б	10–20	0,75 ± 0,02	0,41 ± 0,02	0,29 ± 0,02	0,13 ± 0,01	0,32 ± 0,02	

⁴ Паников Н.С., Палева М.В., Дедыш С.Н., Дорофеев А.Г. Кинетические методы определения биомассы и активности различных групп почвенных микроорганизмов. Почвоведение. 1991; 8: 109–120.

⁵ Okunev R., Smirnova E., Giniyatullin K. Study of the effect of labile organic matter removal from pyrochars on the substrate-induced respiration. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2019; 19(3.2): 459–465. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.2/S13.060>

Рис. 1. Интенсивность СИД (среднее значение и ошибка среднего) при различной длительности инкубации (1, 3 и 6 месяцев) послойных образцов старопашотного горизонта залежной светло-серой лесной почвы с сохранением (рис. 1а) и удалением (рис. 1б) корней и растительных остатков (варианты: 1А и 1Б — слой 0–10 см, участок № 1; 2А и 2Б — слой 0–10 см, участок № 2; 3А и 3Б — слой 10–20 см, участок № 1; 4А и 4Б — слой 10–20 см, участок № 2)

Fig. 1. SIR intensity (mean value and error of the mean) at different incubation durations (1, 3 and 6 months) of layered samples of the old arable horizon of the fallow light gray forest soil with the preservation (Fig. 1a) and with the removal (Fig. 1b) of roots and plant debris (options: 1A and 1B — layer 0–10 cm, section No. 1; 2A and 2B — layer 0–10 cm, section No. 2; 3A and 3B — layer 10–20 cm, section No. 1; 4A and 4B — layer 10–20 cm, section No. 2)



Результаты и обсуждение / Results and discussion

В таблице 2 представлены результаты определения количественного содержания и качественного состава ПОВ в послойных образцах старопашотного горизонта залежной светло-серой лесной почвы.

Для образцов, отобранных с участка № 1, статистически значимая разница была обнаружена по содержанию С_{орг} ($t = 9,2$ при $t_{st} = 3,2$), С_щ ($t = 12,8$ при $t_{st} = 2,8$), С_{щфк} ($t = 7,6$ при $t_{st} = 2,8$), а также содержанию С_{ло} ($t = 14,5$ при $t_{st} = 2,8$). Для образцов, отобранных с участка № 2, статистически значимая разница была обнаружена также по содержанию С_{орг} ($t = 62,1$ при $t_{st} = 3,2$), С_щ ($t = 16,6$ при $t_{st} = 2,8$), С_{щфк} ($t = 14,1$ при $t_{st} = 2,8$) и С_{ло} ($t = 18,2$ при $t_{st} = 2,8$). По содержанию С_{щгк} разница между слоями старопашотного горизонта была незначимой — как для участка № 1 ($t = 0,96$ при $t_{st} = 2,8$), так и для участка № 2 ($t = 0,40$ при $t_{st} = 2,8$).

Из анализа результатов можно сделать вывод, что накопление ОВ в старопашотных горизонтах наблюдается прежде всего в самом верхнем слое, что является вполне ожидаемым и упоминается в ряде работ [13, 14]. Накопление ОВ идет за счет низкомолекулярных подвижных органических соединений фульво-кислотной природы, потенциально подверженных окислительной деструкции.

На рисунке 1 представлены результаты определения интенсивности СИД при различной длительности инкубации с послойно отобранными образцами из старопашотных горизонтов с сохранением (рис. 1а) и удалением (рис. 1б) корней и растительных остатков.

Из анализа результатов можно сделать вывод, что при увеличении времени инкубации наблюдается тенденция снижения (в 2 раза и более) величины СИД, что можно связать с интенсивной минерализацией

и уменьшением содержания, доступного для сапрофитных микроорганизмов ОВ как в растительных остатках, так и, собственно, ПОВ. Удаление корней и растительных остатков из образцов верхнего слоя приводит в целом к уменьшению интенсивности СИД, но не столь значительному, как можно было ожидать.

Вместе с тем при более высоком содержании ПОВ и подвижных легкоокисляемых фракций ОВ (участок № 2) интенсивность СИД в образцах из верхнего слоя (0–10 см) старопашотного горизонта, то есть в вариантах опыта (2А и 2Б), заметно выше, чем в вариантах опыта (1А и 1Б), как при удалении корней и растительных остатков, так и без удаления. В образцах, отобранных из нижней части (10–20 см) старопашотного горизонта, интенсивность СИД существенно меньше (примерно в 3 раза), чем в образцах из верхнего слоя (0–10 см), и мало зависит как от наличия корней и растительных остатков, так и от содержания ПОВ.

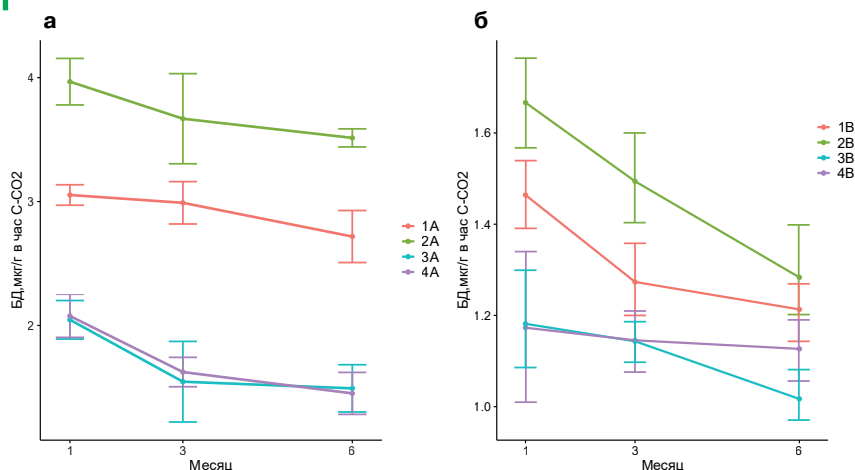
На рисунке 2 представлены результаты определения интенсивности БД при различной длительности инкубации в лабораторных опытах с послойно отобранными образцами из старопашотных горизонтов с сохранением (рис. 2а) и удалением (рис. 2б) корней и растительных остатков.

Если интенсивность БД характеризует наличие в почве непосредственно доступного для разложения сапрофитной микрофлорой ОВ, то интенсивность СИД отражает содержание в почве всего пула ОВ, потенциально доступного для минерализации на длительную перспективу [12].

Ожидается, что результаты определения интенсивности СИД и БД в инкубационном эксперименте хотя в целом и схожи, но имеют определенные отличия. Результаты оценки БД в модельном опыте также показывают снижение интенсивности при увеличении длительности инкубации почвы, но существенно меньше, чем СИД. Интенсивность БД материала старопашотного горизонта, отобранного из верхнего слоя (0–10 см), существенно выше, чем материала из нижнего слоя (10–20 см), однако, в отличие от СИД, интенсивность БД сильно (в разы) уменьшается при удалении из почвы корней и растительных остатков, которые, видимо, являются на начальных стадиях инкубации основным источником питания для активной сапрофитной микрофлоры. Вместе с тем в почве, отобранной из верхнего

Рис. 2. Интенсивность БД (среднее значение и ошибка среднего) при различной длительности инкубации (1, 3 и 6 месяцев) послойных образцов старопашотного горизонта залежной светло-серой лесной почвы с сохранением (рис. 2а) и удалением (рис. 2б) корней и растительных остатков (варианты: 1А и 1Б — слой 0–10 см, участок № 1; 2А и 2Б — слой 0–10 см, участок № 2; 3А и 3Б — слой 10–20 см, участок № 1; 4А и 4Б — слой 10–20 см, участок № 2)

Fig. 2. BR intensity (mean value and error of the mean) at different incubation durations (1, 3 and 6 months) of layered samples of the old arable horizon of the fallow light gray forest soil with the preservation (Fig. 2a) and with the removal (Fig. 2b) of roots and plant debris (options: 1A and 1B — layer 0–10 cm, section No. 1; 2A and 2B — layer 0–10 cm, section No. 2; 3A and 3B — layer 10–20 cm, section No. 1; 4A and 4B — layer 10–20 cm, section No. 2)



слоя старопашотного горизонта, интенсивность БД также зависит от содержания ПОВ и его подвижных окисляемых фракций.

Выводы/Conclusion

Из проведенных лабораторных экспериментов можно сделать вывод, что накопление как непосредственно доступного ОВ (определяющего показатель БД), так и потенциально доступного для минерализации почвенной микрофлорой ОВ (определяющего показатель СИД) характерно прежде всего для верхнего слоя старопашотного горизонта постагрогенных почв.

Полученные результаты оценки интенсивности СИД и БД согласуются с результатами оценки качественного состава ОВ, которые показывают, что накопление ОВ в старопашотных горизонтах происходит преимущественно в его верхней части за счет подвижных потенциально легкоокисляемых органических соединений фульватной природы.

При разработке агротехнических приемов возвращения залежных земель в пахотный оборот необходимо ориентироваться на технологии основной обработки, обеспечивающие максимальное сохранение накопленного в верхнем слое старопашотного горизонта потенциально легкоминерализуемого ПОВ. Поскольку распашка залежей, как правило, сопровождается дигреацией почвенного материала, что в свою очередь может приводить к усилению минерализации ОВ, то при возвращении залежных земель в оборот необходимо обращать особое внимание на обеспечение сохранения структуры почв.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-24-00242.

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project No. 22-24-00242.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Швиденко А.З., Сапожников П.М. Изменение общего пула органического углерода в залежных почвах России в 1990–2004 гг. *Почвоведение*. 2010; (3): 361–368. <https://elibrary.ru/lojfkz>
2. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX в. и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС. 2010; 416. ISBN 978-5-89118-500-5 <https://elibrary.ru/qugztn>
3. Иванов А.Л. и др. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель, выбывших из активного сельскохозяйственного производства. М.: Росинформагротех. 2008; 64. <https://elibrary.ru/qkzlmf>
4. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y. Large-scale carbon sequestration in post-agrogonic ecosystems in Russia and Kazakhstan. *Catena*. 2015; 133: 461–466. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.06.002>
5. Некрич А.С., Люри Д.И. Изменения динамики аграрных угодий России в 1990–2014 гг. *Известия РАН. Серия: Географическая*. 2019; (3): 64–77. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019364-77>
6. Кудеяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации *Почвоведение*. 2019; (1): 109–121. <https://doi.org/10.1134/S0032180X1901009X>
7. Kalinina O., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I., Giani L. Dynamics of carbon pools in post-agrogonic sandy soils of southern taiga of Russia. *Carbon Balance and Management*. 2010; 5: 1. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-5-1>
8. Когут Б.М., Семенов В.М., Артемьева З.С., Данченко Н.Н. Детумусирование и почвенная секвестрация углерода. *Агрохимия*. 2021; (5): 3–13. <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070>
9. Семенов В.М. и др. Экспериментальное определение активного органического вещества в некоторых почвах природных и сельскохозяйственных экосистем. *Почвоведение*. 2006; (3): 282–292. <https://elibrary.ru/htavpr>
10. Кудеяров В.Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России. *Почвоведение*. 2015; (9): 1049–1060. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15090087>
11. Смирнова Е.В., Окунев Р.В., Гиниятуллин К.Г. Влияние углеродных сорбентов на потенциальную способность почв к самоочищению от нефтяного загрязнения. *Георесурсы*. 2022; 24(3): 210–218. <https://doi.org/10.18599/grs.2022.3.18>
12. Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013; 67: 192–211. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.024>
13. Кузнецова И.В., Тихонравова П.И., Бондарев А.Г. Изменение свойств залежных серых лесных почв. *Почвоведение*. 2009; (9): 1142–1150. <https://elibrary.ru/kwignf>
14. Kurganova I.N., Kudeyarov V.N., Lopes de Gerenyu V.O. Updated estimate of carbon balance on Russian territory. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2010; 62(5): 497–505. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2010.00467.x>

ОБ АВТОРАХ

- Камиль Гашикович Гиниятуллин**
кандидат биологических наук, доцент
ginijatullin@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4102-2209>
- Ильназ Алимович Сахабиев**
кандидат биологических наук, доцент
ilnasssoil@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4339-9704>
- Родион Владимирович Окунев**
кандидат биологических наук, доцент
<http://orcid.org/0000-0002-6927-6983>
- Резеда Габдулловна Кадырова**
старший преподаватель
kadrezeda@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8157-5348>
- Людмила Юрьевна Рыжих**
кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель
ludarigih@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-7132-5537>

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008, Россия

REFERENCES

1. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Shvidenko A.Z., Sapozhnikov P.M. Changes in the organic carbon pool of abandoned soils in Russia (1990–2004). *Eurasian Soil Science*. 2010; 43(3): 333–340. <https://doi.org/10.1134/S1064229310030129>
2. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. Dynamics of agricultural lands in Russia in the XX century and post-agrogonic restoration of vegetation and soils. Moscow: GEOS. 2010; 416 (In Russian). ISBN: 978-5-89118-500-5 <https://elibrary.ru/qugztn>
3. Ivanov A.L. et al. Agroecological state and prospects for the use of lands that have retired from active agricultural production. Moscow: Rosinformagrotech. 2008; 64 (In Russian). <https://elibrary.ru/qkzlmf>
4. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y. Large-scale carbon sequestration in post-agrogonic ecosystems in Russia and Kazakhstan. *Catena*. 2015; 133: 461–466. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.06.002>
5. Nekrich A.S., Lyuri D.I. Changes of the dynamic of agrarian lands of Russia in 1990–2014. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya: Geograficheskaya*. 2019; (3): 64–77 (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019364-77>
6. Kudeyarov V.N. Soil-Biogeochemical Aspects of Arable Farming in the Russian Federation. *Eurasian Soil Science*. 2019; 52(1): 94–104. <https://doi.org/10.1134/S1064229319010095>
7. Kalinina O., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I., Giani L. Dynamics of carbon pools in post-agrogonic sandy soils of southern taiga of Russia. *Carbon Balance and Management*. 2010; 5: 1. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-5-1>
8. Kogut B.M., Semenov V.M., Artemyeva Z.S., Danchenko N.N. Humus depletion and soil carbon sequestration. *Agricultural Chemistry*. 2021; (5): 3–13 (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070>
9. Semenov V.M. et al. Experimental determination of the active organic matter content in some soils of natural and agricultural ecosystems. *Eurasian Soil Science*. 2006; 39(3): 251–260. <https://doi.org/10.1134/S1064229306030033>
10. Kudeyarov V.N. Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration. *Eurasian Soil Science*. 2015; 48(9): 923–933. <https://doi.org/10.1134/S1064229315090070>
11. Smirnova E.V., Okunev R.V., Giniyatullin K.G. Influence of carbon sorbents on the potential ability of soils to self-cleaning from petroleum pollution. *Georesursy*. 2022; 24(3): 210–218 (In Russian). <https://doi.org/10.18599/grs.2022.3>
12. Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013; 67: 192–211. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.024>
13. Kuznetsova I.V., Tikhonravova P.I., Bondarev A.G. Changes in the properties of cultivated gray forest soils after their abandoning. *Eurasian Soil Science*. 2009; 42(9): 1062–1070. <https://doi.org/10.1134/S1064229309090142>
14. Kurganova I.N., Kudeyarov V.N., Lopes de Gerenyu V.O. Updated estimate of carbon balance on Russian territory. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2010; 62(5): 497–505. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2010.00467.x>

ABOUT THE AUTHORS

- Kamil Gashikovich Giniyatullin**
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
ginijatullin@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4102-2209>
- Ilnaz Alimovich Sakhbiev**
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
ilnasssoil@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4339-9704>
- Rodion Vladimirovich Okunev**
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
tutinkaz@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6927-6983>
- Reseda Gabdullovna Kadyrova**
Senior Lecturer
kadrezeda@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8157-5348>
- Ludmila Yurievna Ryzhikh**
Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer
ludarigih@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-7132-5537>

Kazan (Volga region) Federal University,
18 Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russia