

Александр Анатольевич Белоусов¹, Елена Николаевна Белоусова²✉

^{1,2}Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

^{1,2}svobodalist571301858@mail.ru

ОЦЕНКА ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ АЗОТА МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ В СЛОЯХ АГРОЧЕРНОЗЕМА В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕХОДА НА БЕСПЛУЖНЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ

Цель исследований – оценить разнокачественность сравниваемых слоев почвы по содержанию азота микробной биомассы в условиях применения бесплужных способов обработки агрочерноземов. Исследования проводились в Красноярском природном округе на базе производственного опыта, заложенного на земельных массивах СПК «Шилинское» Сухобузимского района (56°37' с.ш. 93°12' в.д.). Почва опытного участка – чернозем выщелоченный многогумусный среднемогучный легкоглинистый на красно-бурой глине. Схема опыта состояла из следующих вариантов (способы обработки): 1. Нулевая. 2. Минимальная. 3. Отвальная (st). Содержание азота микробной биомассы ($N_{м.б.}$) определяли методом регидратации-экстракции. Дифференциация исследуемых слоев почвы по величине иммобилизации азота микробной биомассой была статистически значимой в 67 % случаев и чаще наблюдалась в первую половину вегетационных сезонов. Установлено, что существенное влияние на процесс связывания азота микробной плазмой оказывают гидротермические условия. При применении бесплужных способов обработки фактор «температура» был наиболее значимым. В 0–5 см слое при использовании поверхностного дискования повышение температуры сопровождалось реминерализацией микробного азота ($r = -0,81 \dots -0,97$), а в условиях нулевой технологии – его иммобилизацией ($r = 0,91 \dots -0,96$). Несмотря на относительную гомогенность 0–20 см слоя при отвальной вспашке, обнаруживалась существенная дифференциация, что также свидетельствовало о значимой роли абиотических факторов в ассимиляции азота микроорганизмами. В целом величины ассимилированного азота микробной биомассой исследуемого агрочернозема указывают на его значимые запасы, выполняющие важную агрономическую роль в питании сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: бесплужные способы обработки, дифференциация слоев почвы, азот микробной биомассы, иммобилизация

Для цитирования: Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Оценка дифференциации азота микробной биомассы в слоях агрочернозема в процессе перехода на бесплужные способы обработки // Вестник КрасГАУ. 2024. № 6. С. 19–25. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-19-25.

Alexander Anatolyevich Belousov¹, Elena Nikolaevna Belousova²✉

^{1,2}Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

^{1,2}svobodalist571301858@mail.ru

ASSESSMENT OF NITROGEN DIFFERENTIATION OF MICROBIAL BIOMASS IN AGRO-CHERNOZEM LAYERS DURING THE TRANSITION TO NONPLOW TECHNIQUES

The objective of the study is to evaluate the heterogeneity of the compared soil layers in terms of the content of microbial biomass nitrogen under conditions of nonplow techniques of processing agrochernozems. The studies were conducted in the Krasnoyarsk Natural District based on a production experiment conducted on the land plots of the Shilinskoye agricultural production cooperative in the

Sukhobuzimo District (56°37' N, 93°12' E). The soil of the experimental plot was leached high-humus medium-deep light clayey chernozem on red-brown clay. The experimental design included the following options (processing methods): 1. Zero. 2. Minimum. 3. Moldboard (st). The content of microbial biomass nitrogen ($N_{m.b.}$) was determined by the rehydration-extraction method. Differentiation of the studied soil layers by the value of nitrogen immobilization by microbial biomass was statistically significant in 67 % of cases and was more often observed in the first half of the vegetation seasons. It was found that hydrothermal conditions have a significant effect on the process of nitrogen fixation by microbial plasma. When using nonplow techniques of cultivation, the "temperature" factor was the most significant. In the 0–5 cm layer, when using surface disking, an increase in temperature was accompanied by remineralization of microbial nitrogen ($r = -0.81...-0.97$), and under no-till conditions – by its immobilization ($r = 0.91...-0.96$). Despite the relative homogeneity of the 0–20 cm layer during moldboard plowing, significant differentiation was found, which also indicated a significant role of abiotic factors in the assimilation of nitrogen by microorganisms. In general, the values of assimilated nitrogen by the microbial biomass of the studied agrochernozem indicate its significant reserves, which play an important agronomic role in the nutrition of agricultural crops.

Keywords: nonplow techniques of cultivation, differentiation of soil layers, microbial biomass nitrogen, immobilization

For citation: Belousov A.A., Belousova E.N. Assessment of nitrogen differentiation of microbial biomass in agro-chernozem layers during the transition to nonplow techniques // Bulliten KrasSAU. 2024;(6): 19–25 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-19-25.

Введение. Многочисленные исследования [1–3] указывают на различную биогенность и разнокачественность частей пахотного слоя по плодородию. Условия в поверхностном слое почвы (0–10 см) по многим параметрам представляются менее пригодными для функционирования микроорганизмов и произрастания корневых систем растений. Здесь отмечаются наиболее изменчивые температурный и водный режимы, циклы процессов увлажнения и высушивания, значительные температурные флуктуации и градиенты [4–7]. Таким образом, изучение проблемы дифференциации пахотного слоя по свойствам почвы имеет важное научное и практическое значение, поскольку становится теоретической основой рекомендаций по обработке почвы в целом.

Представляя собою «живой» фонд биогенных элементов, биомасса микроорганизмов накапливает значительное количество азота (более 110 кг/га) [8]. По данным С.А. Благодатского (2012), до 25 % неорганического азота может быть иммобилизовано в клетках микроорганизмов и какое-то время находиться в недоступном для питания растений состоянии. В связи с этим важно понимать, как повлияет переход на бесплужные технологии обработки на процессы иммобилизации азота и какие причинно-следственные связи возможны между технологиями обработки, содержанием минеральных соединений азота и азотом микробной биомас-

сы. Азот микробной биомассы ($N_{mб}$), в отличие от нитратной и аммонийной формы, практически недоступен для корней растений, но может являться ближайшим резервом в азотном питании и потому существенно сказывается на продуктивности культур [9, 10]. В условиях земледельческой зоны Красноярского края подобные исследования единичны [11–13].

Цель исследований – оценить разнокачественность сравниваемых слоев почвы по содержанию азота микробной биомассы в условиях применения бесплужных способов обработки агрочерноземов.

Объекты и методы. Исследования были проведены в 2013–2015 гг. в СПК «Шилинское» Красноярской лесостепи Красноярского геоморфологического округа (56° с.ш., 93° в.д.) в условиях длительного опыта, заложенного в 2005 г. В пределах производственных участков были выделены реперные делянки площадью 500 м². С каждого из них трижды за вегетационный сезон отбирали почвенные образцы из слоев 0–5 и 5–20 см. Объем выборки составил 15 индивидуальных проб, рассчитан исходя из величины пространственного варьирования почвенного плодородия.

Почва опытного массива – чернозем выщелоченный многогумусный среднемогучный легкоглинистый на красно-бурой глине. Исследуемая почва характеризовалась высоким содержанием гумуса (8,9 %), величиной рН, близкой к ней-

тральной ($pH_{H_2O} = 6,8$), высокими значениями суммы обменных оснований (60 ммоль 100 г почвы) и степени насыщенности основаниями (99 % от емкости катионного обмена). Рельеф участка относительно выровнен с небольшим ($1-2^\circ$) уклоном, экспозиция – восточная. Химические и физико-химические показатели получены по общепринятым прописям современных методов [14]. Содержание азота микробной биомассы ($N_{м.б.}$) определяли методом регидратации-экстракции [8]. Для этого пробы почвы (сухой вес – 10 г) делили на две части: 1) контрольную почву, из которой проводилась экстракция растворимых соединений азота в день начала операции высушивания; 2) почву для проведения процедуры высушивания-регидратации. Эту почву помещали в открытых стеклянных емкостях в термостат и высушивали в течение 24 ч при температуре $65-70^\circ C$. В качестве экстрагирующего использовали раствор $0,5 M K_2SO_4$. Азот микробной биомассы рассчитывали по формуле: $N_{м.б.} = (e-e_k)/k_N$. Пересчетный коэффициент k_N определяли по методике [8]. Статистический анализ данных проводили с использованием пакета программ MS Excel.

Влияние способов обработки почвы на содержание азота микробной биомассы исследовали в зернопаровом звене севооборота со следующим чередованием культур: химический пар (обработка баковой смесью из гербицидов «Топик» и «Ковбой», фунгицида «Альто Супер»

и инсектицида «Карате»), яровая пшеница, яровая пшеница, овес. Схема опыта состояла из следующих вариантов опыта (способов обработки): 1 – отвальной, 2 – минимальной (поверхностное дискование), 3 – нулевой обработки. Отвальная обработка состояла из зяблевой вспашки на глубину 20–22 см и весенней культивации. Посев зерновых культур в 2013–2015 гг. проводили комбинированным агрегатом – стерневой сеялкой СС-6 с одновременным припосевным внесением нитроаммофоски (25 кг. д.в. /га). Минимальную обработку почвы осуществляли с помощью посевного комплекса СКС-3,2. Дисковыми горизонтальными сошниками посевного комплекса проводили обработку почвы на глубину 4–5 см, посев яровой пшеницы (2013–2014 гг.) и овса (2015 г.) с одновременным внесением нитроаммофоски (25 кг. д.в. /га). Средние многолетние значения (норму), согласно техническому регламенту Всемирной метеорологической организации (ВМО), учитывали за 30-летний период (1981–2010 гг.). Агрометеорологические условия за период наблюдений 2013–2014 гг. свидетельствуют о соответствии среднемесячных температур норме только во второй половине вегетационного сезона. В мае температура была значительно ниже нормы, а в июне превышала ее. Количество выпавших осадков на протяжении всего периода наблюдений превышало норму (табл. 1).

Таблица 1

Основные метеорологические показатели вегетационных сезонов

Год	Месяц					Сумма за период $\sum t > 10^\circ C$
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
Средняя температура воздуха, $^\circ C$						
2013	7,2	15,0	18,6	16,5	6,5	1537
2014	6,8	16,0	19,2	15,9	6,5	1568
2015	10,9	17,0	19,9	16,5	7,9	1638
Норма (1981–2010 гг.)	9,5	17,5	19,1	16,4	8,9	1809
Осадки, мм						
2013	103,8	60,2	50,5	93,9	58,7	367
2014	53,5	50,4	89,4	74,9	32,4	300
2015	30,9	32,6	68,5	62,9	75,4	270
Норма (1981–2010 гг.)	40	52	69	81	39	216
ГТК						
2013	4,6	1,3	0,9	1,8	3,0	2,3
2014	2,5	1,0	1,5	1,5	1,6	1,9
2015	0,9	1,0	1,2	1,6	2,8	1,3
Норма (1981–2010 гг.)	1,3	1,0	1,2	1,6	1,4	1,3

Погодные условия вегетационного периода 2015 г. в целом были более благоприятными для возделывания сельскохозяйственных культур. Отмечалось значительное превышение среднемесячных температур относительно нормы в летние месяцы. Количество выпавших осадков было в пределах средних многолетних значений. Исключение составлял июнь, когда осадков выпало меньше нормы.

Результаты и их обсуждение. Микробная биомасса является одним из важных факторов включения элементов в биологический круговорот. По количеству элементов в составе микробной биомассы можно оценить долю их наи-

более метаболически активного пула [15, 16]. В связи с тем, что между содержанием микробного азота и потенциально минерализуемым часто обнаруживается тесная зависимость, принято считать, что запасы микробной биомассы дают представление об азотминерализующей способности почвы. После внедрения бесплужных обработок (7-й год) в начале вегетационного сезона 2013 г. дифференциация слоев почвы по величине ассимиляции азота микробной биомассой была существенной, но противоположной на фоне использования нулевой и минимальной обработок (табл. 2).

Таблица 2

Достоверность различий по содержанию $N_{мб}$, мг/кг, в сравниваемых слоях $t_{0,5} = 2,14$ (2013 г.)

Вариант	Слой, см	$t_{ф}$	Май	$t_{ф}$	Июнь	$t_{ф}$	Октябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0–5	-0,2	90,1	0,9	56,6	10,7	61,0
	5–20		94,0		46,6		20,4
2. Минимальная обработка (дискование)	0–5	-2,3*	94,1	-2,3	16,3	0,7	53,7
	5–20		169,6		41,7		48,8
3. Нулевая	0–5	2,7	75,2	8,1	83,4	0,6	71,1
	5–20		60,2		62,2		66,1

* Здесь и далее: жирным выделены достоверные различия между слоями.

При применении прямого посева иммобилизация азота усиливалась в слое 0–5 см, а при поверхностном дисковании, напротив, в подсеменном слое 5–20 см. Подобная тенденция на-

блюдалась и в вегетационный сезон 2014 г., когда его начало так же, как и в 2013 г., характеризовалось пониженной теплообеспеченностью и высоким уровнем увлажнения (табл. 3).

Таблица 3

Достоверность различий по содержанию $N_{мб}$, мг/кг, в сравниваемых слоях $t_{0,5} = 2,14$ (2014 г.)

Вариант	Слой, см	$t_{ф}$	Июнь	$t_{ф}$	Июль	$t_{ф}$	Сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0–5	-3,8	123,8	0,7	93,4	5,2	43,4
	5–20		150,3		88,3		32,2
2. Минимальная обработка (дискование)	0–5	-4,3	89,5	6,0	89,9	5,5	99,4
	5–20		119,1		41,8		29,1
3. Нулевая	0–5	2,0	60	15,1	122	-0,3	21
	5–20		53		55		22

Это, вероятно, свидетельствовало о значимом влиянии углеродсодержащих соединений в составе растительных остатков предшествующих культур на процессы перевода минерального азота почвы в белок плазмы в поверхностном надсеменном слое. Тем не менее следует признать, что в прохладные весенние периоды 2013–2014 гг. более высокие значения микробного азота фиксировались не на фоне нулевой тех-

нологии, а при использовании отвальной вспашки и поверхностного дискования. По-видимому, одним из ключевых факторов, определившим интенсивность процессов минерализации-иммобилизации азота, являлся гидротермический, согласуясь с ранее полученными нами данными [17] о невысоких значениях минеральных соединений азота в изучаемых вариантах.

Стоит обратить внимание на роль температурных условий как причины, обусловившей противоположные результаты иммобилизации в поверхностном слое на фоне минимальной обработки и нулевой технологии [18]. Так, при дисковании отмечалась сильная обратная зависимость между температурой и накоплением азота в клетках микроорганизмов ($r = -0,81 \dots -0,96$), тогда как на фоне прямого посева наблюдалась противоположная корреляция ($r = 0,91-0,96$).

О существенном влиянии метеорологических условий на процессы связывания азота микробной биомассой свидетельствуют результаты вегетационного сезона 2015 г. (табл. 4).

Здесь фиксировались сильные зависимости между уровнем увлажнения почвы (табл. 5) и содержанием азота микробной биомассы ($r = 0,95$) на отвальной вспашке в обоих сравниваемых слоях.

Таблица 4

Достоверность различий по содержанию $N_{мб}$, мг/кг, в сравниваемых слоях $t_{0,5} = 2,14$ (2015 г.)

Вариант	Слой, см	$t_{ф}$	Июнь	$t_{ф}$	Июль	$t_{ф}$	Сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0-5	4,4	73	7,3	106	4,5	101
	5-20		57		69		67
2. Минимальная обработка (дискование)	0-5	9,5	111	8,3	108	1,7	188
	5-20		68		68		166
3. Нулевая	0-5	12,9	109	3,1	71	-0,9	162
	5-20		66		54		171

Таблица 5

Полевая влажность в сравниваемых слоях агрочернозема, %

Вариант	Слой, см	2013 г.			2014 г.			2015 г.		
		май	июнь	октябрь	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0-5	34	34	39	23	30	34	22	26	38
	5-20	34	29	41	26	27	33	31	21	36
2. Минимальная обработка	0-5	33	37	35	21	30	35	24	27	34
	5-20	32	32	32	24	27	32	24	24	29
3. Нулевая	0-5	22	28	28	13	27	30	22	23	29
	5-20	22	24	25	15	24	26	24	18	23

На фоне бесплужных рыхлений, напротив, выявлено существенное влияние температуры воздуха ($r = -0,97 \dots -0,99$). Это указывает на значимую роль микробного азота как ближайшего резерва минерального азота при минимизации обработки почвы и ключевое значение в этом теплообеспеченности. Также важно отметить, что в сезоне 2015 г. статистически значимая дифференциация слоев по уровню связывания азота микробной плазмой фиксировалась во все сроки наблюдений с максимумами в слое 0-5 см. Не менее существенными с агрономических позиций являются более высокие величины иммобилизации азота к окончанию периода активной вегетации 2015 г., указывая на защиту минеральных соединений азота от выщелачивания в период осенних морозящих дождей. Известно, что до 50 % связанного в микробной плазме азота в начале периода вегетации следующего сезона минерализуется, и ам-

моний с нитратами могут быть ассимилированы культурными растениями.

Заключение

1. Дифференциация исследуемых слоев почвы по величине иммобилизации азота микробной биомассой была статистически значимой в 67 % случаев и чаще наблюдалась в первую половину вегетационных сезонов.

2. Существенное влияние на процесс связывания азота микробной плазмой оказывают гидротермические условия. При применении бесплужных способов обработки фактор «температура» был наиболее значимым. В 0-5 см слое при использовании поверхностного дискования повышение температуры сопровождалось минерализацией микробного азота, а при нулевой технологии – его иммобилизацией.

Список источников

1. Данилова А.А. Сочетание естественных и антропогенных факторов в формировании свойств выщелоченного чернозема при почвозащитной обработке // *Агрохимия*. 2013. № 8. С. 45–53.
2. Манторова Г.Ф., Зайкова Л.А. Эффективное плодородие частей пахотного слоя почвы // *Аграрная Россия*. 2014. № 11. С. 7–10.
3. Трофимова Т.А., Коржов С.И., Маслов В.А. Дифференциация пахотного слоя по плодородию в зависимости от приемов основной обработки почвы // *Успехи современной науки*. 2016. Т. 1, № 2. С. 13–14.
4. Полонская Д.Е. Микробиологические процессы и эффективное плодородие почв в агроценозах Красноярской лесостепи: монография / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2002. 102 с.
5. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Новосибирск, 2013. 790 с.
6. Гамзиков Г.П., Сулейманов С.З. Азотминерализующая способность серой лесной почвы Новосибирского Приобья при компостировании и паровании растительных остатков // *Почвоведение*. 2021. № 8. С. 582–591.
7. Сорокина О.А., Бугаева А.В. Оценка обеспеченности почв лесостепной зоны нитратным азотом по почвенной диагностике // *Вестник КрасГАУ*. 2023. № 11. С. 155–164.
8. Благодатский С.А. Микробная биомасса и моделирование цикла азота в почве: дис. ... д-ра биол. наук. Пуцзино, 2012. 329 с.
9. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Роль азота микробной биомассы в азотном питании растений на почвах лесостепной зоны Западной Сибири // *Агрохимия*. 2017. № 1. С. 3–11.
10. Чернов Т.И., Семенов М.В. Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор) // *Почвоведение*. 2021. № 12. С. 1506–1522.
11. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н., Аветисян А.Т. Оценка азотмобилизующей способности чернозема выщелоченного при возделывании кормовых трав в Красноярской лесостепи // *Вестник КрасГАУ*. 2016. № 9 (120). С. 172–180.
12. Белоусов А.А. Реакция азота и углерода микробной биомассы чернозема выщелоченного в условиях минимизации обработки // *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 5 (128). С. 156–163.
13. Сорокина О.А. Влияние искусственных древесно-кустарниковых насаждений на биологическую активность почв в степях Хакасии // *Лесоведение*. 2023. № 1. С. 77–84.
14. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
15. Углерод и азот микробной биомассы в почвах южной тайги при определении разными методами / М.И. Макаров [и др.] // *Почвоведение*. 2016. № 6. С. 733–744.
16. Маслов М.Н., Маслова О.А., Токарева О.А. Изменение лабильного и микробного пулов углерода и азота в лесной подстилке при разных способах хранения образцов // *Почвоведение*. 2019. № 7. С. 793–802.
17. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Трансформация азотсодержащих соединений чернозема выщелоченного в условиях минимизации обработки // *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 5 (128). С. 149–156.
18. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Роль азота микробной биомассы в азотном питании растений на почвах лесостепной зоны Западной Сибири // *Агрохимия*. 2017. № 1. С. 3–11.

References

1. Danilova A.A. Sochetanie estestvennyh i antropogennyh faktorov v formirovanii svojstv vyschelochennogo chernozema pri pochvozaschitnoj obrabotke // *Agrohimiya*. 2013. № 8. S. 45–53.
2. Mantorova G.F., Zajkova L.A. `Effektivnoe plodorodie chastej pahotnogo sloya pochvy // *Agrarnaya Rossiya*. 2014. № 11. S. 7–10.
3. Trofimova T.A., Korzhov S.I., Maslov V.A. Differenciaciya pahotnogo sloya po plodorodiyu v zavisimosti ot priemov osnovnoj obrabotki pochvy // *Uspehi sovremennoj nauki*. 2016. T. 1, № 2. S. 13–14.
4. Polonskaya D.E. Mikrobiologicheskie processy i `effektivnoe plodorodie pochv v agrocenozah Krasnoyarskoj lesostepi: monografiya / Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2002. 102 s.
5. Gamzikov G.P. Agrohimiya azota v agrocenozah / Novosib. gos. agrar. un-t. Novosibirsk, 2013. 790 s.

6. *Gamzikov G.P., Sulejmanov S.Z.* Azotmineralizuyuschaya sposobnost' seroj lesnoj pochvy Novosibirskogo Priob'ya pri kompostirovanii i parovanii rastitel'nyh ostatkov // *Pochvovedenie*. 2021. № 8. S. 582–591.
7. *Sorokina O.A., Bugaeva A.V.* Ocenka obespechennosti pochv lesostepnoj zony nitratnym azotom po pochvennoj diagnostike // *Vestnik KrasGAU*. 2023. № 11. S. 155–164.
8. *Blagodatskij S.A.* Mikrobnaya biomassa i modelirovanie cikla azota v pochve: dis. ... d-ra biol. nauk. Puschino, 2012. 329 s.
9. *Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R.* Rol' azota mikrobnaj biomassy v azotnom pitanii rastenij na pochvah lesostepnoj zony Zapadnoj Sibiri // *Agrohimiya*. 2017. № 1. S. 3–11.
10. *Chernov T.I., Semenov M.V.* Upravlenie pochvennymi mikrobnymi soobshchestvami: vozmozhnosti i perspektivy (obzor) // *Pochvovedenie*. 2021. № 12. S. 1506–1522.
11. *Belousov A.A., Belousova E.N., Avetisyan A.T.* Ocenka azotmobilizuyuschej sposobnosti chernozema vyschelochennogo pri vzdelyvanii kormovyh trav v Krasnoyarskoj lesostepi // *Vestnik KrasGAU*. 2016. № 9 (120). S. 172–180.
12. *Belousov A.A.* Reakciya azota i ugleroda mikrobnaj biomassy chernozema vyschelochennogo v usloviyah minimizacii obrabotki // *Vestnik KrasGAU*. 2017. № 5 (128). S. 156–163.
13. *Sorokina O.A.* Vliyanie iskusstvennyh drevesnokustarnikovyh nasazhdenij na biologicheskuyu aktivnost' pochv v stepyah Hakasii // *Lesovedenie*. 2023. № 1. S. 77–84.
14. *Vorob'eva L.A.* Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. M.: GEOS, 2006. 400 s.
15. Ugl'erod i azot mikrobnaj biomassy v pochvah yuzhnoj tajgi pri opredelenii raznymi metodami / *M.I. Makarov [i dr.]* // *Pochvovedenie*. 2016. № 6. S. 733–744.
16. *Maslov M.N., Maslova O.A., Tokareva O.A.* Izmenenie labil'nogo i mikrobnogo pulov ugleroda i azota v lesnoj podstilke pri raznyh sposobah hraneniya obrazcov // *Pochvovedenie*. 2019. № 7. S. 793–802.
17. *Belousov A.A., Belousova E.N.* Transformaciya azotsoderzhaschih soedinenij chernozema vyschelochennogo v usloviyah minimizacii obrabotki // *Vestnik KrasGAU*. 2017. № 5 (128). S. 149–156.
18. *Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R.* Rol' azota mikrobnaj biomassy v azotnom pitanii rastenij na pochvah lesostepnoj zony Zapadnoj Sibiri // *Agrohimiya*. 2017. № 1. S. 3–11.

Статья принята к публикации 12.02.2024 / The article accepted for publication 12.02.2024.

Информация об авторах:

Александр Анатольевич Белоусов¹, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

Елена Николаевна Белоусова², доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

Alexander Anatolyevich Belousov¹, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Docent

Elena Nikolaevna Belousova², Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Docent