



Научная статья/Research Article

УДК 631.465

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-3-10

Александр Анатольевич Белоусов<sup>1✉</sup>, Елена Николаевна Белоусова<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия<sup>1</sup>svoboda57130@mail.ru<sup>2</sup>svobodalist571301858@mail.ru

### ОЦЕНКА ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БЕЗОТВАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ В СЛОЯХ АГРОЧЕРНОЗЕМА

Цель исследований – выявить влияние бесплужных технологий обработки агрочерноземов на гетерогенность сравниваемых слоев почвы по активности ферментов протеазы и уреазы. Исследования осуществлялись в условиях производственного опыта, заложенного в СПК «Шилинское» в Красноярской лесостепи, расположенной в пределах Чулымско-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°37' с.ш. и 93°12' в.д.). Почва опытного участка – чернозем выщелоченный многогумусный среднесплошный легкоголистый на красно-бурой глине. Почва опыта характеризовалась: содержанием гумуса – 5,9 %, нейтральной реакцией среды ( $pH_{H_2O}$  6,8). Сумма поглощенных оснований от 60 до 62 мг-экв/100 г почвы. В производственных посевах трижды за вегетационный сезон отбирались почвенные образцы из слоев 0–5 и 5–20 см методом змейки. Объем выборки – 15 индивидуальных проб. Норму, в соответствии с регламентом ВМО, рассчитывали за 30-летний период (1981–2010 гг.). Схема опыта состояла из следующих вариантов (способы обработки): 1 – нулевая; 2 – минимальная; 3 – отвальная (st). Выявлена существенная дифференциация исследуемых слоев агрочернозема при применении минимальных технологий обработки почвы. Существенное влияние на величину протеолиза оказали периоды с дефицитом атмосферного увлажнения. Повышение влажности сопровождалось снижением протеолитической активности ( $r = -0,5...-0,63$ ) при использовании поверхностного дискования, тогда как в условиях нулевой технологии обнаружено прямое влияние влаги на уровень гидролиза азотсодержащих органических соединений ( $r = 0,61...0,68$ ). Повышение протеазной активности сопровождалось значительным уменьшением трудногидролизующих азотсодержащих соединений при использовании поверхностного дискования ( $r = -0,57...-0,71$ ). В периоды с избыточным увлажнением также обнаруживались значимые различия по уровню уреазной активности, преимущественно при применении минимальной технологии. Трансформация легкогидролизующих азотсодержащих органических соединений была сопряжена с уровнем уреазной активности.

**Ключевые слова:** ферментативная активность почвы, протеаза, уреазы, безотвальные технологии обработки почвы

**Для цитирования:** Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Оценка дифференциации ферментативной активности при применении безотвальных технологий обработки в слоях агрочернозема // Вестник КрасГАУ. 2024. № 12. С. 3–10. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-3-10.

Alexander Anatolyevich Belousov<sup>1✉</sup>, Elena Nikolaevna Belousova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>svoboda57130@mail.ru

<sup>2</sup>svobodalist571301858@mail.ru

## ASSESSMENT OF ENZYMATIC ACTIVITY DIFFERENTIATION WHEN USING WASTE-FREE PROCESSING TECHNOLOGIES IN AGRO-CHERNOZEM LAYERS

*The objective of the study is to identify the effect of no-till technologies for processing agrochernozems on the heterogeneity of the compared soil layers in terms of protease and urease enzyme activity. The studies were carried out under the conditions of a production experiment laid out in the Shilinskoye agricultural production cooperative in the Krasnoyarsk forest-steppe located within the Chulym-Yenisei denudation plateau of the southwestern outskirts of Central Siberia (56°37' N and 93°12' E). The soil of the experimental plot was leached high-humus medium-deep light clayey chernozem on red-brown clay. The experimental soil was characterized by: humus content of 5.9 %, neutral reaction of the environment (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 6,8). The sum of absorbed bases was from 60 to 62 mg-eq/100 g of soil. In production crops, soil samples were taken three times during the vegetation season from the 0–5 and 5–20 cm layers using the snake method. The sample size was 15 individual samples. The norm, in accordance with the WMO regulations, was calculated for a 30-year period (1981–2010). The experimental design consisted of the following variants (processing methods): 1 – zero; 2 – minimum; 3 – moldboard (st). A significant differentiation of the studied agrochernozem layers was revealed when using minimum tillage technologies. Periods with a deficit of atmospheric moisture had a significant effect on the amount of proteolysis. An increase in moisture was accompanied by a decrease in proteolytic activity ( $r = -0.5 \dots -0.63$ ) when using surface disking, whereas under no-till conditions a direct effect of moisture on the level of hydrolysis of nitrogen-containing organic compounds was found ( $r = 0.61 \dots 0.68$ ). An increase in protease activity was accompanied by a significant decrease in difficult-to-hydrolyze nitrogen-containing compounds when using surface disking ( $r = -0.57 \dots -0.71$ ). During periods with excess moisture, significant differences in the level of urease activity were also found, mainly when using minimum tillage technology. The transformation of easily hydrolysable nitrogen-containing organic compounds was associated with the level of urease activity.*

**Keywords:** enzymatic activity of the soil, protease, urease, waste-free tillage technologies

**For citation:** Belousov A.A., Belousova E.N. Assessment of enzymatic activity differentiation when using waste-free processing technologies in agro-chernozem layers // Bulliten KrasSAU. 2024;(12): 3–10 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-3-10.

**Введение.** Обработка почвы коренным образом изменяет ход и направление почвенно-биологических процессов, что не может не отразиться на интенсивности и направленности гидролиза азоторганических соединений в почве [1–8]. При длительном использовании прямого посева происходит дифференциация агрофизических, агрохимических и биологических свойств пахотного слоя почвы [9–11]. Согласно системно-экологической концепции [1], ферментативная активность почвы является результирующей трех блоков: продуцирования ферментов, их стабилизации (иммобилизации) и проявления (действия) активности. Способы обработки почвы, несомненно, оказывают влияние как на количественные, так и на качественные характеристики перечисленных факторов. Вероятно, различные элементы механического воздейст-

вия по-разному определяют степень и направленность влияния этих блоков на ферментативную активность. В условиях продолжительного периода с отрицательными температурами в почвенном профиле ослабляется нисходящее передвижение почвенной влаги, укорачивается период с интенсивными биохимическими процессами, замедляются темпы биологического круговорота веществ. Исследования, направленные на поиск закономерностей влияния обработки почвы на активность ферментов азотного режима в слоях почвы достаточно актуальны [12–14].

**Цель исследования** – выявить влияние бесплужных технологий обработки агроchernozемов на гетерогенность сравниваемых слоев почвы по активности ферментов протеазы и уреазы.

**Объекты и методы.** Влияние бесплужных способов обработки почвы на уровень активности ферментов азотного цикла агропочв в СПК «Шилинское» изучали по схеме опыта: 1 – отвальная обработка; 2 – минимальная (поверхностное дискование) обработка; 3 – нулевая технология.

*Отвальная* основная обработка состояла из зяблевой вспашки на глубину 20–22 см и весенней культивации. Посев яровой пшеницы в 2013–2015 гг. проводился комбинированным агрегатом – стерневой сеялкой СС-6 с одновременным припосевным внесением нитроаммофоски.

*Минимальная обработка (поверхностное дискование)* почвы осуществлялась СКС-3,2. С помощью дисковых горизонтальных сошников посевного комплекса проводилась обработка почвы на глубину 4–5 см. Делянки, где применялась технология *нулевой обработки*, обрабатывали баковой смесью из гербицидов «Топик» и «Ковбой», фунгицида «Альто Супер» и инсектицида «Карате». Посев осуществлялся комбинированным агрегатом СС-6 без предварительной подготовки почвы с механическим высевом семян.

Объектом исследований послужила почва длительного стационарного опыта. Морфологи-

ческое описание почвенного разреза на территории полевого стационара:

$A_{\text{пах}}$  0–20 см – черный, свежий, легосуглинистый, плотный, тонкопористый, трещин нет, комковатый, корневины, дендриты, не вскипает, переход постепенный;

$AB$  20–44 см – бурый, свежий, легкосуглинистый, плотный, тонкопористый, трещин нет, комковатый, червороины, не вскипает, переход постепенный, карманистый;

$B$  44–70 см – охристо-бурый, свежий, глинистый, плотный, тонкопористый, трещин нет, комковатый, не вскипает, переход ясный;

$BC_k$  70–100 см – красно-бурый, тяжелый суглинок, очень плотный, тонкопористый, трещин нет, вскипает

Почва опыта: содержание гумуса – 5,9 %, нейтральная реакция среды ( $pH_{H_2O}$  – 6,8). Сумма поглощенных оснований от 60 до 62 мг-экв/100 г почвы. В производственных посевах трижды за вегетационный сезон отбирались почвенные образцы из слоев 0–5 и 5–20 см методом змейки. Объем выборки – 15 индивидуальных проб.

Норму, в соответствии с регламентом ВМО, рассчитывали за 30-летний период (1981–2010 гг.). Динамика погодных условий, формировавшихся на исследуемой территории, показана в таблице 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, °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

Отличительными особенностями периода активной вегетации в 2013 г. были следующие. Температура воздуха оценивалась в среднем ниже нормы. Количество осадков превышало средние многолетние значения. Сезон 2014 г. выделялся большим накоплением тепла и соответствовал норме. Количество осадков неоднородно распределялось по сезону. На протяжении большинства месяцев теплого периода 2014 г. увлажнение было несколько выше нормы, но ниже, чем в предыдущий сезон. Погодные условия вегетационного периода 2015 г. в целом были более благоприятными для продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Фиксировалось значимое превышение среднемесячных температур относительно нормы. Количество выпавших осадков соответствовало средним многолетним значениям, за исключением июня, когда их значения были меньше нормы.

Химические и физико-химические показатели получены общепринятыми методами [15]. Ферментативную активность почвы определяли: протеазу по методу Гоффмана и Тейхера [16] при длине волны 650 нм и выражали в мг амин-

ного азота на 10 г почвы за 20 ч, уреазу – по А.Ш. Галстяну при длине волны 400 нм и выражали в мг гидролизованной мочевины на 10 г почвы за 24 ч. Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ MS Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Как известно, сложные превращения азота почвы из одной формы в другую связаны с активностью фермента – протеазы, которая выделяется в почву как микроорганизмами, так и корнями растений [17]. Полученные нами данные обращают на себя внимание слабым уровнем активности протеазы в вегетационный сезон 2013 г., который, вероятно, был обусловлен избыточным количеством осадков и, как следствие, повышенной влажностью почвы (табл. 2, 3). Ранее Ф.Х. Хазиев (2018) и Т.В. Минникова и др. (2018) отмечали, что наиболее важными из педоэкологических условий для проявления ферментативной активности являются температура и влажность, определяющие функционирование всех звеньев процесса формирования и динамики энзимов [1, 18].

Таблица 2

**Достоверность различий по активности протеолиза в сравниваемых слоях,  $t_{0,5} = 2,15$**

Вариант	2013 г.						
	Слой, см	$t_{\phi}$	Май	$t_{\phi}$	Июнь	$t_{\phi}$	Сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0–5	<b>-4,0</b>	3,9	-0,9	4,7	1,3	6,9
	5–20		4,2		4,9		6,1
2. Минимальная обработка (дискование)	0–5	-1,3	4,4	<b>2,3</b>	1,8	0,2	3,6
	5–20		4,7		1,3		3,5
3. Нулевая обработка	0–5	-	Не опред.	-	Не опред.	-	Не опред.
	5–20		Не опред.		Не опред.		Не опред.
	2014 г.						
	Слой, см	$t_{\phi}$	Июнь	$t_{\phi}$	Июль	$t_{\phi}$	Сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0–5	<b>4,2</b>	13,5	0,5	10,5	<b>-2,5</b>	11,5
	5–20		11,0		10,2		12,6
2. Минимальная обработка (дискование)	0–5	-0,3	9,4	-0,9	9,2	<b>3,0</b>	10,1
	5–20		9,6		9,4		9,0
3. Нулевая обработка	0–5	-0,7	7,8	<b>2,3</b>	12,5	-0,8	10,1
	5–20		7,8		9,4		10,2
	2015 г.						
	Слой, см	$t_{\phi}$	Июль	$t_{\phi}$	Август	$t_{\phi}$	Сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0–5	1,0	8,7	0,3	8,8	0,1	10,2
	5–20		8,4		8,7		10,2
2. Минимальная обработка (дискование)	0–5	<b>5,6</b>	8,0	<b>4,0</b>	11,7	<b>3,2</b>	10,7
	5–20		6,8		10,0		9,4
3. Нулевая обработка	0–5	0,7	7,7	<b>4,6</b>	9,3	<b>3,4</b>	10,0
	5–20		7,4		8,1		9,0

\*Жирным шрифтом выделены достоверные различия.

Наши исследования подтвердили данное утверждение только в отношении влияния влажности почвы (см. табл. 3). Было выявлено, что степень увлажнения весьма существенно определяла условия для проявления активности протеазы как в слое 0–5, так и 5–20 см. Интересно отметить, что при использовании минимальной обработки повышение влажности сопровождалось снижением протеолитической ак-

тивности ( $r = -0,5...-0,63$ ), тогда как нулевая технология способствовала прямому влиянию влаги на уровень гидролиза азотсодержащих органических соединений ( $r = 0,61...0,68$ ). Обнаруженные зависимости также существенно повлияли на дифференциацию слоев по активности протеолиза в условиях бесплужных технологий в сезоне 2015 г., когда наблюдался дефицит осадков.

Таблица 3

**Полевая влажность в сравниваемых слоях агрочернозема, %**

Вариант	Слой см	2013			2014			2015		
		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

Также, именно в условиях минимальной обработки, повышение протеазной активности сопровождалось значительным уменьшением трудногидролизующих азотсодержащих соединений ( $r = -0,57...-0,71$ ). При отвальной вспашке это влияние было менее существенным ( $r = -0,41...-0,52$ ), а при отказе от нее – линейная зависимость оказывалась слабой ( $r = 0,16...0,25$ ). Как известно, фракция трудногидролизующего азота является резервом для пополнения фонда подвижных азотных соединений. Она состоит из азота аминов, части амидов, части необменного аммония и части гуминов. Участие протеазы в трансформации этих азоторганических соединений до легкогидролизующих соединений азота в большей степени фиксировалось при отвальной обработке агрочерноземов ( $r = 0,45...0,64$ ).

Таким образом, выявлено существенно влияние способов обработки почвы на уровень увлажнения слоев почвы и, как следствие, на протеолитическую активность, определяющую интенсивность гидролиза органических соединений азота.

Далее рассмотрим заключительную стадию превращения азоторганических соединений, связанную с действием фермента уреазы, вызывающей гидролитическое расщепление связи между азотом и углеродом в молекулах органических веществ (табл. 4). Важно, что аммиачный азот, сформировавшийся при участии уреазы,

является элементом азотного питания сельскохозяйственных культур и почвенных микроорганизмов.

Известно, что уровень уреазной активности существенно определяется термическими условиями педоценоза, а активность уробактерий в весенний период в почвах Сибирского региона существенно уступает европейским аналогам и сопровождается дефицитом азота. В отличие от протеолиза активность уреазы слабо определялась влажностью почвы ( $r = 0,10...0,43$ ), а влияние температуры было более значимым, но статистически не достоверным ( $r = -0,40...-0,52$ ).

Применение отвальной обработки определило в начале сезона 2013 г., характеризовавшегося избыточным увлажнением и прохладной погодой, наибольшую активность фермента уреазы в обоих слоях почвы, что соответствовало по шкале Д.Г. Звягинцева – богатой [19]. В последующие сроки интенсивность фермента сменялась на среднюю и бедную, обнаруживая значимое различие по его биохимической активности в пользу верхнего 0–5 см слоя почвы. В течение вегетационного сезона 2014 г. в пахотном слое почвы рассматриваемого варианта активность уреазы сохраняется на уровне средней обогащенности. При этом в условиях отвальной вспашки наиболее высокие значения показателя отмечены для слоя почвы 5–20 см.

Достоверность различий по активности уреазы в сравниваемых слоях,  $t_{0,5} = 2,15$ 

Вариант	2013 г.						
	Слой, см	$t_{\phi}$	Май	$t_{\phi}$	Июнь	$t_{\phi}$	Сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0–5	0,8	50	4,1	11	2,2	6
	5–20		46		5		2
2. Минимальная обработка (дискование)	0–5	4,9	28	2,5	6	3,1	3
	5–20		11		4		1
3. Нулевая обработка	0–5	–	Не опред.	–	Не опред.	–	Не опред.
	5–20		Не опред.		Не опред.		Не опред.
	2014 г.						
	Слой, см	$t_{\phi}$	Июнь	$t_{\phi}$	Июль	$t_{\phi}$	Сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0–5	–0,1	19	–1,6	13	–1,9	16
	5–20		19		18		24
2. Минимальная обработка (дискование)	0–5	1,2	6	0,7	5	0,6	4
	5–20		2		3		3
3. Нулевая обработка	0–5	1,2	2	0,1	2	1,1	2
	5–20		1		2		1
	2015 г.						
	Слой, см	$t_{\phi}$	Июнь	$t_{\phi}$	Июль	$t_{\phi}$	Сентябрь
1. Отвальная вспашка (st)	0–5	1,3	3	–1,1	7	5,0	13
	5–20		2		8		3
2. Минимальная обработка (дискование)	0–5	3,6	2	0,2	2	2,4	3
	5–20		1		2		1
3. Нулевая обработка	0–5	3,7	1	–0,6	1	1,9	2
	5–20		0,2		1		1

Замена отвальной обработки минимальной существенно снижала уровень уреазной активности в почве: от средней степени обогащенности весной до очень бедной к осени. Здесь для верхнего 0–5 см слоя почвы характерна большая величина активности. В течение следующего вегетационного сезона интенсивность деятельности уреазы характеризовалась лишь как бедная.

Наблюдения за уреазной активностью почвы, не подвергающейся механической обработке, показали слабую напряженность биохимических процессов на протяжении всего вегетационного сезона 2015 г. По-видимому, использование сокращенных механических обработок почвы или отказ от них приводит к изменениям в метаболизме азотсодержащих органических соединений, замедляя их трансформацию в почвенной толще и заметно увеличивая уровень гидролитических процессов самого верхнего слоя.

Также в отличие от интенсивности протеолиза активность уреазы была значимо связана с трансформацией легкогидролизуемых азотсодержащих органических соединений. Интересно отметить, что более существенные зависимости отмечались при использовании минимальной обработки ( $r = -0,71 \dots -0,76$ ).

**Заключение.** Минимальные технологии обработки почвы вызывали существенную дифференциацию исследуемых слоев почвы по величине протеолитической активности в периоды с дефицитом атмосферного увлажнения и значимой почвенной засухой. Установлено, что повышение протеазной активности сопровождалось значительным уменьшением трудногидролизуемых азотсодержащих соединений при использовании поверхностного дискования. Достоверные различия по уровню уреазной активности также обнаруживались преимущественно при применении минимальной технологии, но в сезоне с избыточным увлажнением. При этом трансформация легкогидролизуемых азотсодержащих органических соединений была сопряжена с уровнем уреазной активности.

## Список источников

1. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. Т. 1, № 2. С. 80–92.
2. Менькина Е.А., Куприченко М. Сезонная динамика биологической активности в агро- и биогенных почвах Ставропольского края //

- Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 2 (14). С. 64–75.
3. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) / А.А. Завалин [и др.] // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1506–1516.
4. Влияние минимизации обработки чернозема выщелоченного на вынос яровой пшеницей почвенного азота в лесостепи Западной Сибири / И.Н. Шарков [и др.] // Агрохимия. 2019. № 9. С. 67–73.
5. Влияние сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий / Т.В. Минникова [и др.] // Агрохимия. 2020. № 10. С. 20–27.
6. Зинченко М.К., Зинченко С.И. Ферментативная активность серой лесной почвы при различных приемах основной обработки // Достижение науки и техники АПК. 2021. № 4. С. 17–21.
7. Башкин В.Н. Повышение эффективности использования азота: проблемы и пути решения. Сообщение 1. Агрохимические подходы // Агрохимия. 2022. № 7. С. 82–96.
8. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Влияние почвозащитных технологий на содержание подвижного органического вещества и ферментативную активность почвы // Агрохимия. 2022. № 5. С. 30–37.
9. Данилова А.А. Сочетание естественных и антропогенных факторов в формировании свойств выщелоченного чернозема при почвозащитной обработке // Агрохимия. 2013. № 8. С. 45–53.
10. Синещиков В.Е., Ткаченко Г.И. Влияние минимизации основной обработки почвы на азотный режим чернозема выщелоченного и продуктивность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте // Агрохимия. 2016. № 1. С. 59–64.
11. 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.
12. Полонская Д.Е. Микробиологические процессы и эффективное плодородие почв в агроценозах Красноярской лесостепи: монография. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2002. 102 с.
13. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Трансформация азотсодержащих соединений чернозема выщелоченного в условиях минимизации обработки // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5 (128) С. 149–156.
14. Гамзиков Г.П., Сулейменов С.З. Азотминерализующая способность серой лесной почвы Новосибирского Приобья при компостировании и паровании растительных остатков // Почвоведение. 2021. № 5. С. 582–591.
15. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
16. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
17. Влияние ресурсосберегающей технологии No-till на агрофизические и биологические свойства чернозема обыкновенного Башкирского Зауралья / Г.Р. Ильбулова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 66–71.
18. Оценка зависимостей между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий / Т.В. Минникова [и др.] // Агрофизика. 2018. № 1. С. 9–17.
19. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние технологии No-Till на эколого-биологическое состояние почв. Ростов н/Д.: Изд-во Южного федер. ун-та, 2017. 140 с.

## References

1. Haziev F.H. `Ekologicheskie svyazi fermentativnoj aktivnosti pochv // `Ekobioteh. 2018. Т. 1, № 2. S. 80–92.
2. Men'kina E.A., Kuprichenko M. Sezonnaya dinamika biologicheskoy aktivnosti v agro- i biogennyh pochvah Stavropol'skogo kraya // Tavrisheskij vestnik agrarnoj nauki. 2018. № 2 (14). S. 64–75.
3. Azot v chernozemah pri tradicionnoj tehnologii obrabotki i pryamom poseve (obzor) / A.A. Zavalin [i dr.] // Pochvovedenie. 2018. № 12. S. 1506–1516.
4. Vliyanie minimizacii obrabotki chernozema vyschelochennogo na vynos yarovoj pshenicej pochvennogo azota v lesostepi Zapadnoj Sibiri / I.N. Sharkov [i dr.] // Agrohimiya. 2019. № 9. S. 67–73.
5. Vliyanie sel'skohozyajstvennyh kul'tur na fermentativnuyu aktivnost' chernozemov Rostov-

- skoj oblasti pri ispol'zovanii razlichnyh agrotehnologij / T.V. Minnikova [i dr.] // Agrohimiya. 2020. № 10. S. 20–27.
6. Zinchenko M.K., Zinchenko S.I. Fermentativnaya aktivnost' seroj lesnoj pochvy pri razlichnyh priemah osnovnoj obrabotki // Dostizhenie nauki i tehniki APK. 2021. № 4. S. 17–21.
  7. Bashkin V.N. Povyshenie `effektivnosti ispol'zovaniya azota: problemy i puti resheniya. Soobschenie 1. Agrohimicheskie podhody // Agrohimiya. 2022. № 7. S. 82–96.
  8. Belousova E.N., Belousov A.A. Vliyanie pochvozaschitnyh tehnologij na sodержanie podvizhnogo organicheskogo veschestva i fermentativnuyu aktivnost' pochvy // Agrohimiya. 2022. № 5. S. 30–37.
  9. Danilova A.A. Sochetanie estestvennyh i antropogennyh faktorov v formirovanii svoystv vyschelochnogo chernozema pri pochvozaschitnoj obrabotke // Agrohimiya. 2013. № 8. S. 45–53.
  10. Sineschekov V.E., Tkachenko G.I. Vliyanie minimizacii osnovnoj obrabotki pochvy na azotnyj rezhim chernozema vyschelochnogo i produktivnost' yarovoj pshenicy v zernoparovom sevooborote // Agrohimiya. 2016. № 1. S. 59–64.
  11. 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.
  12. Polonskaya D.E. Mikrobiologicheskie processy i `effektivnoe plodorodie pochv v agrocenozah Krasnoyarskoj lesostepi: monografiya. Krasnoyarsk: Krasnoyar. gos. agrar. un-t, 2002. 102 s.
  13. Belousov A.A., Belousova E.N. Transformaciya azotsoderzhaschih soedinenij chernozema vyschelochnogo v usloviyah minimizacii obrabotki // Vestnik KrasGAU. 2017. № 5 (128) S. 149–156.
  14. Gamzikov G.P., Sulejmenov S.Z. Azotmineralizuyuschaya sposobnost' seroj lesnoj pochvy Novosibirskogo Priob'ya pri kompostirovanii i parovanii rastitel'nyh ostatkov // Pochvovedenie. 2021. № 5. S. 582–591.
  15. Vorob'eva L.A. Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. M.: GEOS, 2006. 400 s.
  16. Haziiev F.H. Metody pochvennoj `enzimologii. M.: Nauka, 2005. 252 s.
  17. Vliyanie resursoberegayuschej tehnologii No-till na agrofizicheskie i biologicheskie svoystva chernozema obyknovennogo Bashkirskogo Zaural'ya / G.R. Il'bulova [i dr.] // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2022. T. 36, № 4. S. 66–71.
  18. Ocenka zavisimostej mezhdru gidrotermicheskimi pokazatelyami i fermentativnoj aktivnost'yu chernozemov Rostovskoj oblasti pri ispol'zovanii razlichnyh agrotehnologij / T.V. Minnikova [i dr.] // Agrofizika. 2018. № 1. S. 9–17.
  19. Mokrikov G.V., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. Vliyanie tehnologii No-Till na `ekologo-biologicheskoe sostoyanie pochv. Rostov n/D.: Izdvo Yuzhnogo feder. un-ta, 2017. 140 s.

Статья принята к публикации 28.10.2024 / The article accepted for publication 28.10.2024.

Информация об авторах:

**Александр Анатольевич Белоусов**<sup>1</sup>, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

**Елена Николаевна Белоусова**<sup>2</sup>, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

**Alexander Anatolyevich Belousov**<sup>1</sup>, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Docent

**Elena Nikolaevna Belousova**<sup>2</sup>, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Docent