

Научная статья

УДК 631.416.1 (631.465)

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-69-75

Елена Николаевна Белоусова¹

¹Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹svobodalist571301858@mail.ru

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ И АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ АГРОЧЕРНОЗЕМА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НУЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

Цель исследований – оценить содержание и динамику органических и минеральных форм азота, а также ферментов азотного цикла в условиях нулевой технологии обработки почвы. Исследования осуществлялись в производственном опыте, заложенном в СПК «Шилинское» в Красноярской лесостепи, в пределах Чулымско-Енисейского денудационного плато на юго-западной окраине Средней Сибири (56°37' с.ш. и 93°12' в.д). Период действия изучаемых технологий к началу наблюдений составил семь лет. В производственных посевах полевых культур был выделен реперный участок удлиненной формы площадью 500 м². Почвенные образцы отбирали из слоев 0–5 и 5–20 см методом змейки. Объем выборки (n = 15) рассчитывали исходя из определенной до проведения опыта величины варьирования почвенного плодородия. Почвенный покров представлен сочетанием черноземов выщелоченных средне- и многогумусных средне-мощных глинистых пылеватых-илватых. Прекращение механического перемешивания почвы с сохранением растительных остатков на поверхности почвы затормаживает минерализацию лабильных органических соединений в период формирования продукционного процесса растений. Сезонный ритм динамики азота трудно- и легкогидролизуемых соединений также свидетельствует о подавлении активности процессов, запускающих разложение соединений белковой природы. Значительные изменения в содержании минеральных форм азота связаны с перераспределением фитомассы растений в пользу надсеменной части пахотного слоя. Аккумуляция окисленных соединений азота нарастает во второй половине вегетации. Ферментативная активность отражает стадии превращения азотсодержащих соединений. Уреазная активность почвы является более чувствительной к изменению способа основной обработки в сравнении с активностью протеолиза.

Ключевые слова: нулевая технология обработки, органические и минеральные формы азота, активность уреазы и протеазы

Для цитирования: Белоусова Е.Н. Сезонная динамика азотсодержащих соединений и активность ферментов агрочернозема при использовании нулевой технологии обработки // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 69–75. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-69-75.

Elena Nikolaevna Belousova¹

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹svobodalist571301858@mail.ru

NITROGEN-CONTAINING COMPOUNDS SEASONAL DYNAMICS AND AGRICHERNOZEM ENZYMES ACTIVITY USING ZERO TREATMENT TECHNOLOGY

The purpose of research is to evaluate the content and dynamics of organic and mineral forms of nitrogen, as well as enzymes of the nitrogen cycle under conditions of zero tillage technology. The studies were carried out in a production experiment, laid down in the Shilinskoye SPK in the Krasnoyarsk forest-

steppe, within the Chulym-Yenisei denudation plateau on the southwestern outskirts of Central Siberia (56°37' N and 93°12' E). The period of validity of the studied technologies by the beginning of observations was seven years. In the industrial sowing of field crops, a reference plot of an elongated shape with an area of 500 m² was allocated. Soil samples were taken from layers 0–5 and 5–20 cm using the snake method. The sample size ($n = 15$) was calculated based on the soil fertility variation determined before the experiment. The soil cover is represented by a combination of leached medium- and high-humus medium-thick clayey silty chernozems. The cessation of mechanical mixing of the soil with the preservation of plant residues on the soil surface inhibits the mineralization of labile organic compounds during the formation of the production process of plants. The seasonal rhythm of the dynamics of nitrogen in compounds that are difficult to and easily hydrolyzed also indicates a suppression of the activity of processes that trigger the decomposition of compounds of a protein nature. Significant changes in the content of mineral forms of nitrogen are associated with the redistribution of plant phytomass in favor of the aerial part of the arable layer. The accumulation of oxidized nitrogen compounds increases in the second half of the growing season. Enzymatic activity reflects the stages of conversion of nitrogen-containing compounds. Soil urease activity is more sensitive to changes in the main tillage method compared to proteolysis activity.

Keywords: zero processing technology, organic and mineral forms of nitrogen, urease and protease activity

For citation: Belousova E.N. Nitrogen-containing compounds seasonal dynamics and agrichernozem enzymes activity using zero treatment technology // Bulliten KrasSAU. 2022;(4): 69–75. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-69-75.

Введение. Приемы основной обработки почвы являются одним из наиболее сильных факторов воздействия на активность и направленность биологических процессов в почве. При этом создаются различные условия развития корневой системы растений, перераспределения пожнивно-корневых остатков в пахотном слое [1, 2]. Альтернативой традиционной системе обработки почвы является технология прямого посева. Созданный при нулевой технологии микроклимат на поверхности почвы менее благоприятен для разложения растительных остатков, чем в самой почве. В результате замедляется разложение биомассы остатков и высвобождение азотсодержащих веществ, снижается их доступность растениям [2]. Материалы многолетних исследований [3] в условиях Красноярской лесостепи указывают на прочное закрепление азота во всех подтипах черноземов с образованием негидролизуемых его форм, при котором значительная часть подвижного азота превращается в «мертвый» азотный фонд, исключается из биологического круговорота и питания растений. Ограничивающим фактором биохимического превращения форм азота в почвах региона является своеобразие гидротермического режима. Широкое внедрение сокращенных обработок почвы в условиях Сибирского региона сопровождается изменением азотного режима и требует исследования механизмов и приемов регулирования напряженно-

сти биологических процессов в почве, поскольку от них зависит специфика подходов к оптимизации азотного питания растений и управлению плодородием почвы. Изученность этих вопросов здесь крайне недостаточна.

Цель исследований – оценить содержание и динамику органических и минеральных форм азота, а также ферментов азотного цикла в условиях нулевой технологии обработки почвы.

Объекты и методы. Исследования проводились на производственном комплексе «Шилинское», расположенном в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°37' с.ш., 93°12' в.д.). Продолжительность изучения влияния почвозащитной технологии к моменту начала настоящего исследования составила семь лет. В течение вегетационного сезона 2013 г. земельный массив находился в условиях химического пара. Здесь была проведена трехкратная обработка баковой смесью из гербицидов «Топик» и «Ковбой», фунгицида «АльтоСупер» и инсектицида «Карате». В третьей декаде августа без предварительной подготовки почвы была посеяна озимая тритикале комбинированным агрегатом СС-6. Ее вегетационный период пришелся на 2014 г.

Объект исследования – чернозем выщелоченный среднегумусный среднеспособный сильноносмый легкоглинистый на красно-бурой глине. Почва опыта характеризуется средним

содержанием гумуса (4,7 %) и нейтральной реакцией среды ($pH_{H_2O} - 6,8$), высокой суммой обменных оснований (60–62 ммоль/100г почвы), степень насыщенности основаниями составляет 99 %. В пределах производственных посевов был выделен реперный участок удлиненной

формы площадью 500 м². Трижды за вегетационный сезон из слоев 0–5 и 5–20 см отбирали почвенные образцы методом змейки. Объем выборки составил 15 индивидуальных проб. В годы наблюдений распределение тепла и влаги было неодинаковым (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические показатели в годы наблюдений

Год	Месяц					$\sum t > 10^\circ C$ за период активной вегетации
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Средняя температура воздуха, °C						
2013	7,2	15,0	18,6	16,5	6,5	1535
2014	6,8	16,0	19,2	15,9	6,5	1565
Норма	8,7	15,5	18,3	14,9	8,3	1627
Осадки, мм						
2013	103,8	60,2	50,5	93,9	58,7	367,1
2014	53,5	50,4	89,4	74,9	32,4	300,6
Норма	34,7	46,8	64,5	58,6	42,5	247,0

Температура воздуха в вегетационный сезон 2013 г. была ниже нормы в начале и конце вегетационного сезона. За теплый период этого года выпало 367 мм осадков. Относительно влажными оказались май и июнь. Следующий сезон характеризовался большим накоплением тепла и приближался к норме. Исключение составили майский и сентябрьский периоды наблюдений. Количество осадков колебалось в широком диапазоне, с тенденцией к превышению средней многолетней нормы. Дальнейшее увеличение количества осадков происходило в период август – сентябрь. На протяжении большинства месяцев теплого периода 2014 г. увлажнение было несколько повышенное относительно средней многолетней нормы, но ниже, чем в предыдущий сезон. Максимальное количество осадков выпало лишь в июле – 89 мм. Согласно Г.Т. Селянинову, величина ГТК за июнь-август составила 1,3.

Химические и физико-химические показатели получены по общепринятым методам [4]. Содержание легко-($N_{лг}$) и трудногидролизуемого ($N_{тг}$) азота – по Корнфилду, аммонийного азота ($N-NH_4$) – колориметрически с реактивом Несслера, нитратного азота ($N-NO_3$) – по Грандваль-Ляжу. Ферментативную активность почвы определяли: протеазу – по Гоффману и Тейхеру, уреазу – по А.Ш. Галстяну [5] в период вегета-

ции озимой тритикале в 2014 г. Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Технологии основной обработки почвы оказывают существенное влияние на агрофизические параметры и биохимическую напряженность, от которых зависит мобилизация доступных растениям питательных веществ [6]. Полученные нами данные иллюстрируют значительное преобладание среди органических соединений трудногидролизуемой фракции азота (рис. 1). Период парования (2013 г.) сопровождался их слабым накоплением. Вероятно, процессы превращения растительного материала, поступившего в почву, затормаживались в первой половине вегетационного периода. Лишь в фазу кущения озимой тритикале количество $N_{тг}$ достигло наибольших величин, указывая на снижение подвижности органических форм азота. В вегетационный сезон 2014 г. пик накопления обнаруживался в июле, когда растения находились в фазе колошения. Причинами этого являлись понижение температуры под мульчирующим слоем оставленных пожнивных остатков предшествующих полевых культур, многократное применение пестицидов, нарушающих активность микроорганизмов, участвующих в превращении органических соединений азота.

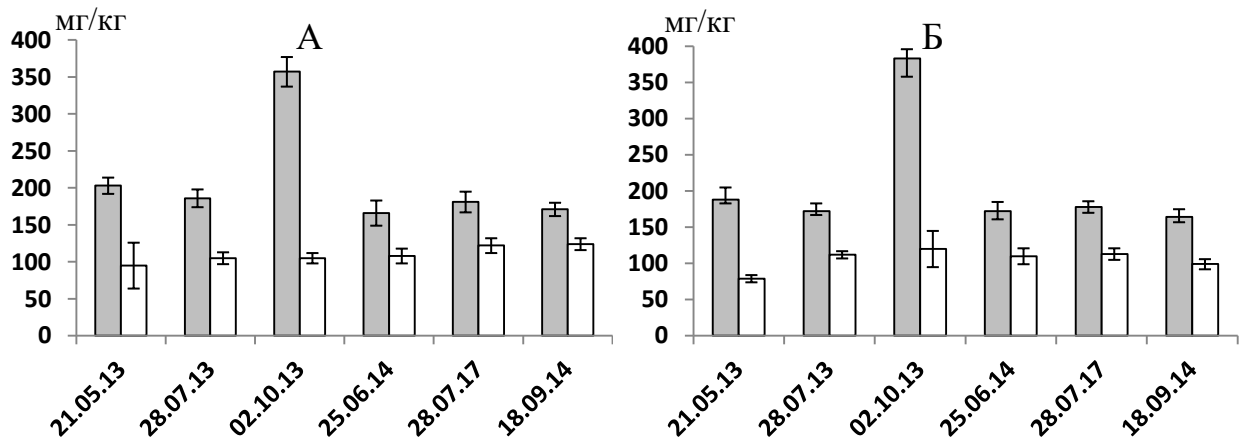


Рис. 1. Динамика содержания трудноидролизуемых и легкоидролизуемых форм азота в слоях почвы 0–5 (А) и 5–20 см (Б)

Обозначенное способствовало длительному периоду «раскачивания» процессов трансформации органических форм азота в почве.

Легкогидролизуемая фракция азота – ближайший резерв азотного питания растений. В период парования, а далее под посевами озимой тритикале наблюдалась небольшая амплитуда колебаний соединений азота, переходящих в 1 н NaOH гидролизат, что соответствовало средней обеспеченности азотом (рис. 1). Наибольшее их содержание найдено, когда растения достигли фазы цветения. В течение летнего периода накопление азотсодержащих соединений сменялось расходом на образование минеральных форм.

Таким образом, на фоне нулевой обработки сезонный ритм динамики азота трудно- и легкогидролизуемых соединений свидетельствовал о подавлении активности процессов, запускающих разложение соединений белковой природы.

Сложные превращения азота почвы из одной формы в другую связаны с протеолитической активностью ферментов, которые продуцируются в почву как микроорганизмами, так и корнями растений. Результаты наших наблюдений обнаружили, что интенсивность протеолиза находилась в сопряжении с изменениями $N_{лг}$, прежде всего в фазу цветения – восковой спелости культуры ($r = 0,61$). Под вегетирующими посевами озимой тритикале отмечался всплеск активности протеазы во второй половине вегетации в верхней части пахотного слоя, что обеспечивало последующее накопление минеральных форм азота (рис. 2, 3). Очевидно, интенсивность биохимических процессов в зоне активной деятельности корневой системы определялась температурными условиями ($r = 0,77$) и не зависела от условий увлажнения ($r = -0,07$).

Таблица 2

Активность протеазы пахотного слоя чернозема выщелоченного в условиях нулевой технологии, мг аминного азота / 10г почвы за 20 ч (2014)

Статистические параметры	Срок определения					
	25.06.2014		28.07.2014		18.09.2014	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
$\bar{x} \pm Sx$	7,8 ± 0,4	7,8 ± 0,3	12,5 ± 2,6	9,4 ± 0,6	10,1 ± 0,6	10,2 ± 0,6
V, %	9,8	7,6	3,6	12,2	9,6	10,5
Sx, %	2,5	2,0	9,6	3,2	2,6	2,8

Следующая стадия превращения азоторганических соединений связана с действием фермента уреазы, который вызывает гидролитическое расщепление связи между азотом и углеродом в молекулах органических веществ [7]. На этом этапе в процессе аммонификации высвобождается

аммиак, который служит источником питания. Наблюдения за уреазной активностью агрочерноземов показали слабую напряженность биохимических процессов, согласно шкале [8], на протяжении всего вегетационного сезона (табл. 3).

Активность уреазы пахотного слоя чернозема выщелоченного в условиях нулевой технологии, мг мочевины / 10 г почвы за 24 ч

Статистические параметры	Срок определения					
	25.06.2014		28.07.2014		18.09.2014	
	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см	0–5 см	5–20 см
$\bar{x} \pm Sx$	1,2 ± 0,2	0,9 ± 0,2	1,6 ± 0,4	1,8 ± 1,0	1,7 ± 0,4	1,1 ± 0,1
V, %	9,8	7,6	48,1	12,2	42,1	23,2
Sx, %	5,5	11,3	2,6	3,2	11,1	6,2

Существенное влияние на формирование низкого уровня гидролитического расщепления мочевины могли оказывать неблагоприятные гидротермические условия вегетационного сезона, и прежде всего фактор «температура» ($r = 0,78$). Кроме того, ингибирующее воздействие на уровень активности ферментов азотного цикла обусловлено использованием пестицидов [9].

Экспериментальные данные иллюстрируют, что отказ от механической обработки почвы обнаруживает схожий характер динамики восстановленных соединений азота по годам исследо-

вания и указывает на очень низкие количественные оценки по шкале, предложенной [10]. Наибольшая концентрация обменного аммония в почве этого варианта найдена в середине вегетационного сезона 2013 г. Тем не менее их значения следует отнести ко второму классу обеспеченности элементом питания. Исчезновение аммиачного азота в почве под растениями (табл. 4) связано с биологическим закреплением минеральных соединений азота микрофлорой почвы в результате внесения в почву растительных материалов, бедных азотом [11].

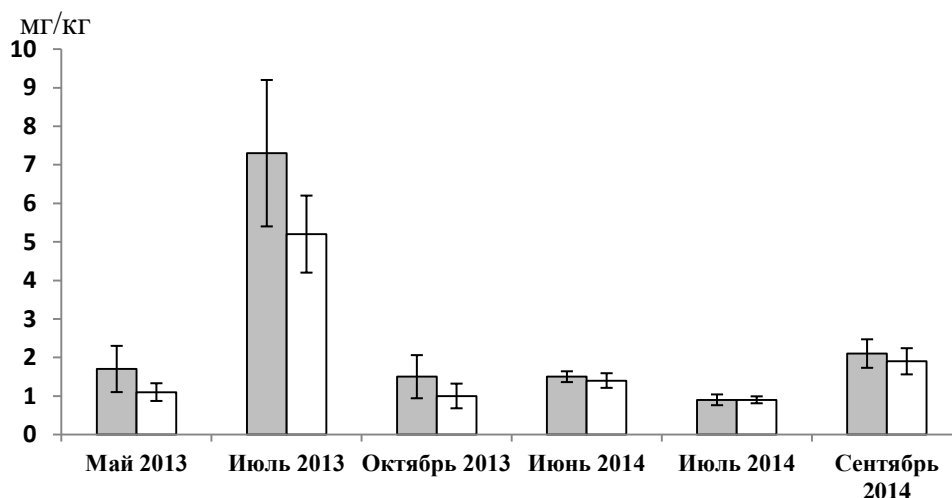


Рис. 2. Динамика содержания аммиачного азота в пахотном слое чернозема выщелоченного, мг/кг

Дальнейший биохимический процесс преобразования азотистых соединений (нитрификация) выявил депрессию в образовании нитратного азота. Его содержание в почве исследуемых слоев не выходило за пределы первого класса обеспеченности. По-видимому, одной из причин угнетения процесса нитратонакопления в течение периода вегетации 2013 г. являлись

неблагоприятные гидротермические условия (рис. 3). Низкий уровень содержания нитратного азота в летний период обусловлен комплексом факторов: потребление возделываемой культурой, снижение уровня влажности почвы, ухудшение аэрации в результате ее уплотнения и поглощения кислорода корневой системой однолетних злаков.

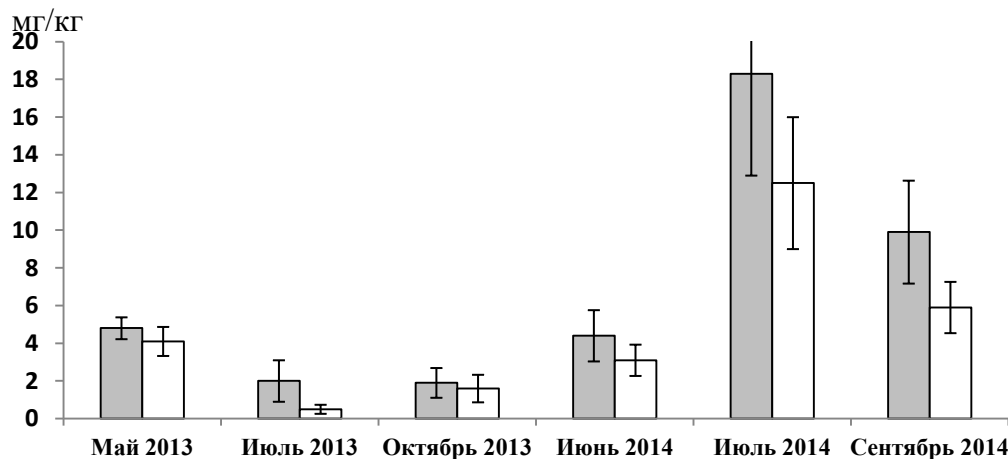


Рис. 3. Динамика содержания нитратного азота в пахотном слое чернозема выщелоченного, мг / кг

В течение первой половины вегетации накопление тепла было ниже нормы, тогда как количество осадков превышало ее. Наибольшего развития процесс образования нитратного азота достигал в почве под посевами озимой тритикале. В фазу ее цветения содержание элемента соответствовало пятому классу обеспеченности. Обозначенное согласуется с экспериментальными материалами [12, 13], подтверждающими возможность повышения нитрифицирующей способности почвы в условиях технологии прямого посева.

Заключение

1. На фоне многолетнего использования нулевой обработки динамика азота трудно- и легкогидролизуемых соединений указывала на слабые значения активности процессов, запускающих разложение соединений белковой природы.

2. Процессы превращений органических форм азота в период вегетации озимой тритикале определялись уровнем протеолитической активности ($r = 0,61$). Уреазная активность в целом свидетельствовала о слабой биологической активности почвы, что обуславливало низкие значения содержания аммонийного азота. Динамика активности исследуемых ферментов определялась температурными условиями вегетационного сезона ($r = 0,77-0,78$).

3. Использование нулевой технологии в условиях химического парования и возделывание зерновой культуры по пару обеспечивали низкий уровень накопления нитратного азота.

Список источников

1. Белоусова Е.Н. Влияние почвозащитных технологий на плотность и твердость чернозема выщелоченного // Вестник КрасГАУ. 2015. № 11. С. 3–9.
2. Влияние минимизации обработки чернозема выщелоченного на вынос яровой пшеницей почвенного азота в лесостепи Западной Сибири / И.Н. Шарков [и др.] // Агротехника. 2019. № 9. С. 67–73.
3. Чупрова В.В. Запасы, состав и трансформация органического вещества в пахотных почвах Средней Сибири // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 90. С. 96–116.
4. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006.
5. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005.
6. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Трансформация азотсодержащих соединений чернозема выщелоченного в условиях минимизации обработки // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5 (128). С. 149–156.
7. Оценка ферментативной активности черноземов Ростовской области под бинарными посевами подсолнечника / Т.В. Минникова [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. № 6. С. 141–155.
8. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2012. 260 с.

9. Трансформация азота и активность уреазы при использовании гербицидов / А.А. Белоусов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2019. № 11 (152). С. 9–15.
10. Кочергин А.Е., Рущик Г.А., Волощук А.Т. Режим нитратного азота и обменного аммония в серых лесных почвах подтаежной зоны Омской области // Агрохимия. 1983. № 5. С. 3–9.
11. Семенов В.М. Современные проблемы и перспективы агрохимии азота // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 1. С. 55–63.
12. Влияние минимизации основной обработки почвы на плодородие чернозема типичного / Д.В. Дубовик [и др.] // Агрохимия. 2021. № 3. С. 22–27.
13. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш. Влияние технологии No-till на нитрифицирующую активность черноземов Ростовской области // Агрохимия. 2017. № 9. С. 33–38.
4. Vorob'eva L.A. Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. M.: GEOS, 2006.
5. Haziiev F.H. Metody pochvennoj `enzimologii. M.: Nauka, 2005.
6. Belousova E.N., Belousov A.A. Transformaciya azotsoderzhaschih soedinenij chernozeма vyschelochennogo v usloviyah minimizacii obrabotki // Vestnik KrasGAU. 2017. № 5 (128). S. 149–156.
7. Ocenka fermentativnoj aktivnosti chernozemov Rostovskoj oblasti pod binarnymi posevami podsolnechnika / T.V. Minnikova [i dr.] // Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2017. № 6. S. 141–155.
8. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Bidiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovanij. Rostov n/D: Izd-vo YuFU, 2012. 260 s.
9. Transformaciya azota i aktivnost' ureazy pri ispol'zovanii gerbicidov / A.A. Belousov [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2019. № 11 (152). S. 9–15.
10. Kochergin A.E., Ruschik G.A., Voloschuk A.T. Rezhim nitratnogo azota i obmennogo ammoniya v seryh lesnyh pochvah podtaezhnoj zony Omskoj oblasti // Agrohimiya. 1983. № 5. S. 3–9.
11. Semenov V.M. Sovremennye problemy i perspektivy agrohonii azota // Problemy agrohonii i `ekologii. 2008. № 1. S. 55–63.
12. Vliyanie minimizacii osnovnoj obrabotki pochvy na plodorodie chernozema tipichnogo / D.V. Dubovik [i dr.] // Agrohimiya. 2021. № 3. S. 22–27.
13. Minnikova T.V., Mokrikov G.V., Kazeev K.Sh. Vliyanie tehnologii No-till na nitrificiruyuschuyu aktivnost' chernozemov Rostovskoj oblasti // Agrohimiya. 2017. № 9. S. 33–38.

References

1. Belousova E.N. Vliyanie pochvozaschitnyh tehnologij na plotnost' i tverdost' chernozema vyschelochennogo // Vestnik KrasGAU. 2015. № 11. S. 3–9.
2. 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.
3. Chuprova V.V. Zapasy, sostav i transformaciya organicheskogo veschestva v pahotnyh pochvah Srednej Sibiri // Byul. Pochv. in-ta im. V.V. Dokuchaeva. 2017. Vyp. 90. S. 96–116.
4. Vorob'eva L.A. Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. M.: GEOS, 2006.
5. Haziiev F.H. Metody pochvennoj `enzimologii. M.: Nauka, 2005.
6. Belousova E.N., Belousov A.A. Transformaciya azotsoderzhaschih soedinenij chernozeма vyschelochennogo v usloviyah minimizacii obrabotki // Vestnik KrasGAU. 2017. № 5 (128). S. 149–156.
7. Ocenka fermentativnoj aktivnosti chernozemov Rostovskoj oblasti pod binarnymi posevami podsolnechnika / T.V. Minnikova [i dr.] // Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2017. № 6. S. 141–155.
8. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Bidiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovanij. Rostov n/D: Izd-vo YuFU, 2012. 260 s.
9. Transformaciya azota i aktivnost' ureazy pri ispol'zovanii gerbicidov / A.A. Belousov [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2019. № 11 (152). S. 9–15.
10. Kochergin A.E., Ruschik G.A., Voloschuk A.T. Rezhim nitratnogo azota i obmennogo ammoniya v seryh lesnyh pochvah podtaezhnoj zony Omskoj oblasti // Agrohimiya. 1983. № 5. S. 3–9.
11. Semenov V.M. Sovremennye problemy i perspektivy agrohonii azota // Problemy agrohonii i `ekologii. 2008. № 1. S. 55–63.
12. Vliyanie minimizacii osnovnoj obrabotki pochvy na plodorodie chernozema tipichnogo / D.V. Dubovik [i dr.] // Agrohimiya. 2021. № 3. S. 22–27.
13. Minnikova T.V., Mokrikov G.V., Kazeev K.Sh. Vliyanie tehnologii No-till na nitrificiruyuschuyu aktivnost' chernozemov Rostovskoj oblasti // Agrohimiya. 2017. № 9. S. 33–38.

Статья принята к публикации 03.02.2022 / The article accepted for publication 03.02.2022.

Информация об авторах:

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

Information about the authors:

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