

Дмитрий Иванович Еремин

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, профессор кафедры почвоведения и агрохимии, доктор биологических наук, доцент, Россия, Тюмень

E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Оксана Николаевна Демина

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, аспирант кафедры почвоведения и агрохимии, Россия, Тюмень

E-mail: oksi.victorious@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ЛЕГКОГИДРОЛИЗУЕМОГО АЗОТА И НИТРИФИКАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ ПАХОТНОГО ЧЕРНОЗЕМА В ЛЕСОСТЕПИ ЗАУРАЛЬЯ

Запасы азота в почве и ее нитрификационная способность являются объективными показателями почвенного плодородия. В условиях лесостепи Северного Зауралья в длительном стационарном опыте изучали влияние возрастающих доз минеральных удобрений на содержание легкогидролизуемого азота пахотного чернозема выщелоченного. Также провели исследования по выявлению влияния удобрений на нитрификационную способность пашни. В ходе исследований было определено содержание легкогидролизуемого азота в пахотном черноземе на контроле (без удобрений) и при внесении возрастающих доз минеральных удобрений. Установлено, что на естественном и минимальном агрофоне (NP на 3 т/га зерна) в слое 0–40 см была низкая обеспеченность легкогидролизуемым азотом. Систематическое внесение минеральных удобрений на планируемые урожайности 5 и 6 т/га зерна способствовало его значительному увеличению относительно контроля. На максимальном агрофоне (NP 6 т/га зерна) в слое 20–40 см содержание легкогидролизуемого азота значительно ниже из-за активной работы минерализующей микрофлоры. В ходе работы определен коэффициент корреляции между урожайностью и содержанием легкогидролизуемого азота в почве, который составил 0,8 ед. и свидетельствует о тесной связи этих факторов между собой. Результаты многолетних исследований показывают, что заметных изменений нитрификационной активности старопахотного чернозема, как на варианте без удобрений, так и при внесении невысоких доз минеральных удобрений, не происходит. Нитрификация составила 12,0 и 13,3 мг/кг почвы соответственно. При внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна свыше 5 т/га нитрификация возрастает в 1,5 раза относительно контроля. Установлена тесная связь легкогидролизуемого азота и нитрификационной способности почвы, коэффициент корреляции составил 0,94 ед.

Ключевые слова: легкогидролизуемый азот, нитрификация, микрофлора почвы, биологическая активность, чернозем выщелоченный, минеральные удобрения.

Dmitry I. Eremin

Northern Trans-Urals State Agrarian University, professor of the chair of soil science and agrochemistry, doctor of biological sciences, associate professor, Russia, Tyumen

E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Oksana N. Demina

Northern Trans-Urals State Agrarian University, post-graduate student of the chair of soil science and agrochemistry, Russia, Tyumen

E-mail: oksi.victorious@mail.ru

THE INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON THE CONTENT OF EASILY HYDROLYZED NITROGEN AND NITRIFICATION CAPACITY OF ARABLE CHERNOZEM IN THE FOREST-STEPPE OF TRANS-URALS

Nitrogen reserves in the soil and its nitrification capacity are objective indicators of soil fertility. The effect of increasing doses of mineral fertilizers on the content of easily hydrolyzed nitrogen of leached arable chernozem was studied. The research to identify the effect of fertilizers on the nitrification capacity of arable land was conducted. In the course of research, the content of easily hydrolyzed nitrogen in arable chernozem was determined on control (without fertilizers) and with increasing doses of mineral fertilizers. It was found that natural and minimal agricultural background (NP per 3 t/hectare of grain) in 0–40 cm layer had had low availability of easily hydrolyzed nitrogen. Systematic application of mineral fertilizers to the planned yields of 5 and 6 t/hectare of grain contributed to its significant increase relative to the control. At the maximum agrophone (NP 6 t/hectare of grain) in the layer of 20–40 cm, the content of easily hydrolyzed nitrogen was significantly lower due to active work of mineralizing microflora. In the course of work, the correlation coefficient between the yield and the content of easily hydrolyzed nitrogen in the soil was determined, which made 0.8 units and it showed that these factors were closely related to each other. The results of long-term research showed that there had not been any noticeable changes in the nitrification activity of old-arable chernozem both on the variant without fertilizers and when applying low doses of mineral fertilizers. Nitrification was 12.0 and 13.3 mg/kg of soil, respectively. The application of mineral fertilizers to the planned grain yield of more than 5 t/hectare, nitrification increased by 1.5 times relative to the control. A close relationship between easily hydrolyzed nitrogen and the nitrification capacity of the soil was established, the correlation coefficient made 0.94 units.

Keywords: *easily hydrolyzed nitrogen, nitrification, soil microflora, biological activity, leached chernozem, mineral fertilizers.*

Введение. Азот – один из главных элементов питания, без достаточного количества которого невозможно получить высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Именно поэтому наличие этого химического элемента наряду с органическим углеродом лежит в основе плодородия почв. Черноземные почвы хорошо обеспечены общими запасами азота, несмотря на широкую область распространения по земному шару. Наиболее обеспечены черноземы европейской части России, которые содержат до 0,45 % азота [1, 2]. В Западной Сибири, по данным Г.П. Гамзикова, содержание азота в черноземах может превышать и европейские аналоги [3]. Черноземные почвы юга Тюменской области характеризуются меньшим содержанием общего азота и резко убывающим его распределением в почвенной толще [4]. Однако высокое содержание общего азота не означает наличие в достаточном количестве доступных для растений форм данного элемента. Как показала практика агрохимических обследований земель сельскохозяйственного назначения и многочисленные научные исследования, более 80 % характеризуются дефицитом

азота, необходимого для формирования средних урожаев. Из этого следует, что доступный азот для сельскохозяйственных культур в пахотных почвах лесостепной зоны Зауралья находится в первом минимуме [5].

При разработке системы удобрений аграрии столкнулись с проблемой несоответствия обеспеченности растений азотом их фактической продуктивности. Очень часто можно слышать высказывания, что расчетные дозы удобрений на планируемые урожаи не дают точного результата, причем отклонения бывают довольно существенны. Для объяснения этого необходимо понимать, что при расчетах мы руководствуемся фактическим содержанием доступного для растений азота, но не учитываем особенности почв, погоды и агротехники. Наиболее стабильным и близким к фактической обеспеченности растений является легкогидролизуемый азот, который при нитрификации очень быстро переходит из органической части в минеральные вещества.

Исследования легкогидролизуемого азота начали проводиться несколько десятилетий назад и продолжаются до настоящего времени.

Несмотря на сотни краткосрочных исследований и десятки многолетних опытов, мнения ученых разделились. Часть исследователей выявили корреляцию между продуктивностью культур и содержанием легкогидролизуемого азота, что дает возможность оптимизировать систему удобрений [6–8]. Другая группа ученых так и не смогла найти доказательства зависимости между этими показателями [9, 10].

Цель исследований. Изучение содержания легкогидролизуемого азота и нитрификационной способности пахотного чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья при внесении возрастающих доз минеральных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур.

Объекты и методы исследований. Исследования по влиянию минеральных удобрений на содержание легкогидролизуемого азота и нитрификационную способность выполнены на пахотном черноземе выщелоченном в лесостепной зоне Зауралья. На стационаре кафедры почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья, под руководством Г.Д. Притчиной, в 1995 году

был заложен опыт, исследования на котором продолжаются и в настоящее время. Опыт представлен трехпольным зернопаровым севооборотом: однолетние травы – яровая пшеница – овес.

Характер действия на изучаемые показатели оценивали в посевах яровой пшеницы в трехкратной повторности. Дозы аммиачной селитры и аммофоса рассчитывали перед посевом методом элементарного баланса. Вносили на планируемые урожайности зерна с учетом текущей нитрификации и начальных запасов питательных веществ в почве в дозах, представленных на рисунке 1. Из-за обеспеченности черноземов Северного Зауралья подвижным калием удобрения, содержащие этот элемент питания, не вносили. В опыте высевалась яровая пшеница сорта Новосибирская 27.

Осенью после уборки предшественника проводили отвальную обработку, весной по физически спелой почве боронование. Внесение удобрений осуществляли вручную с последующей культивацией.

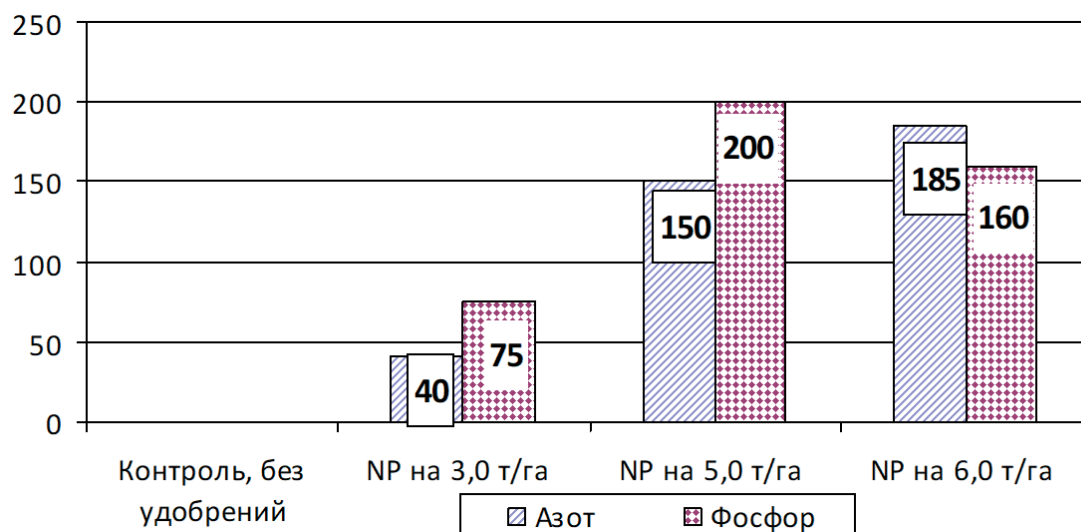


Рис. 1. Дозы удобрений на планируемые урожайности зерна яровой пшеницы (2018–2020 гг.), кг/га д.в.

Содержание потенциально доступного для растений азота (легкогидролизуемого) определяли по методу Корнфилда; нитрификационную способность по методу С.П. Кравкова в лаборатории экологии почв Агробиотехнологического центра ГАУ Северного Зауралья.

Отбор почвы для лабораторных исследований проводили в фазу цветения яровой пшеницы до 40 см послойно с шагом 10 см.

Статистическая обработка результатов была проведена с помощью программы MS Excel и по

методике Б.А. Доспехова. Градации по легкогидролизруемому азоту – Г.П. Гамзикова (2000 г.).

Результаты исследований и их обсуждение. На варианте с естественным агрофоном (контроль) содержание легкогидролизваемого азота в слое 0–20 см пахотного чернозема составило 144 мг/кг, что соответствует низкой обеспеченности (табл. 1). В слое 20–40 см данный показатель соответствовал 112 мг/кг почвы. Внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна не оказало достоверного влияния на содержание щелочнорастворимого азота в слое

0–40 см – отклонения были в пределах НСР₀₅. Систематическое применение высоких доз удобрений (NPK на 5,0 и 6,0 т/га) способствовало увеличению содержанию легкогидролизваемого азота в черноземе. В целом по слою 0–40 см изучаемый показатель был соответственно 148 и 143 мг/кг почвы, что на 16 % выше значений контроля. Причиной этого является запашка соломы и пожнивно-корневых остатков с повышенным содержанием общего азота и более быстрой их трансформацией под действием почвенной микрофлоры [11, 12].

Таблица 1

Содержание легкогидролизваемого азота в пахотном черноземе при внесении возрастающих доз минеральных удобрений (2018–2020 гг.), мг/кг почвы

Вариант (фактор А)	Слой почвы (фактор В), см		
	0–20	20–40	0–40
Контроль	144	112	128
NPK на 3,0 т/га	147	117	132
NPK на 5,0 т/га	156	141	148
NPK на 6,0 т/га	158	129	143
НСР ₀₅ для фактора А = 8 мг/кг; для В = 6			

Минеральные удобрения оказали непосредственное влияние на содержание легкогидролизваемого азота не только в слое 0–20 см, но и глубже. На вариантах с высоким агрофоном, где вносили удобрения на планируемые урожаи свыше 3,0 т/га, содержание N_{лг} было на 26 % выше значений контроля (НСР₀₅=6 мг/кг). На варианте с максимальным агрофоном (NPK на 6,0 т/га) отмечено достоверное уменьшение содержания легкогидролизваемого азота – отклонение составило 12 мг, или 9 % по сравнению с предыдущим вариантом. Причиной этого является стимулирующее действие минеральных удобрений на минерализующую микрофлору [13, 14]. Данный факт указывает на необходимость учета измене-

ния активности почвенной биоты при разработке системы удобрений, обеспечивающей расширенное воспроизводство плодородия.

Для выявления корреляции между урожайностью сельскохозяйственных культур и содержанием легкогидролизваемого азота в почве приведены данные по годам (табл. 2). На контроле за 2018–2020 гг. урожайность варьировала в незначительных пределах – от 1,85 до 2,24 т/га. На этом варианте формирование урожая происходило за счет естественного плодородия. Содержание легкогидролизваемого азота в слое 0–40 см в эти годы менялось от 124 до 132 мг/кг, что подтверждает влияние погодных условий на данный показатель.

Урожайность яровой пшеницы при внесении удобрений и разном содержании легкогидролизуемого азота

Вариант	Урожайность пшеницы, т/га			Легкогидролизуемый азот в слое 0–40 см, мг/кг		
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Контроль	1,85	2,04	2,24	124	127	132
НРК на 3,0 т/га	2,88	3,04	3,52	133	124	139
НРК на 5,0 т/га	5,14	5,49	5,17	142	149	153
НРК на 6,0 т/га	5,54	5,07	6,24	151	126	154
НСР ₀₅	0,2	0,2	0,3	7	6	9

Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{75}$ обеспечило получение планируемой урожайности 3,0 т/га – варьирование по годам было незначительным – от 2,88 до 3,52 т/га. Однако содержание легкогидролизуемого азота изменялось иначе по сравнению с контролем. В 2018 г. разница между вариантами и контролем стала достаточно достоверна – 9 мг/кг при НСР₀₅, равном 7 мг. В 2019 и 2020 гг. отклонения находились в пределах ошибки опыта.

Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га обеспечило в годы исследований формирование урожая от 5,14 до 5,49 т/га, что для Северного Зауралья считается отличным результатом даже для черноземных почв. Содержание легкогидролизуемого азота во все годы исследований было достоверно выше контроля и варианта с планируемой урожайностью 3,0 т/га и варьировало в пределах 142–153 мг/кг почвы.

На варианте с максимальным уровнем применения минеральных удобрений (НРК на 6,0 т/га зерна) планируемая урожайность была получена только в 2018 и 2020 гг. Причиной недобора зерна в 2019 г. стали погодные условия вегетационного периода. В этот же год отмечено минимальное среди удобренных вариантов содержание легкогидролизуемого азота – 126 мг/кг почвы в слое 0–40 см. Данные 2018 и 2020 гг. не позволяют однозначно указать на

негативное влияние высоких доз минеральных удобрений. Содержание $N_{лг}$ в эти годы в июле составило 151 и 154 мг/кг почвы соответственно, что оказалось максимальным среди изучаемых вариантов. Анализ урожайности и содержания легкогидролизуемого азота по годам показал присутствие тесной положительной связи между этими показателями – коэффициент корреляции составил 0,8 ед.

Одним из главных биологических показателей почвы считается ее нитрифицирующая способность, которая лежит в основе азотного режима. Этот показатель напрямую связан с количественным составом почвенной микрофлоры и ее активностью. В результате исследований было установлено, что пахотный чернозем, на котором не вносили минеральные удобрения более 20 лет (с 1995 г.), характеризуется минимальной нитрифицирующей способностью. В июле она составляла 12,0 мг/кг почвы, что является очень низким значением для черноземов (рис. 2). Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна не оказало существенного влияния на нитрификацию, которая составила 13,3 мг/кг почвы. На вариантах с высоким агрофоном (НРК на 5,0 и 6,0 т/га) нитрифицирующая способность была достоверно выше контроля, достигая 17,2 и 18,1 мг/кг почвы при НСР₀₅, равном 1,1 мг/кг почвы.

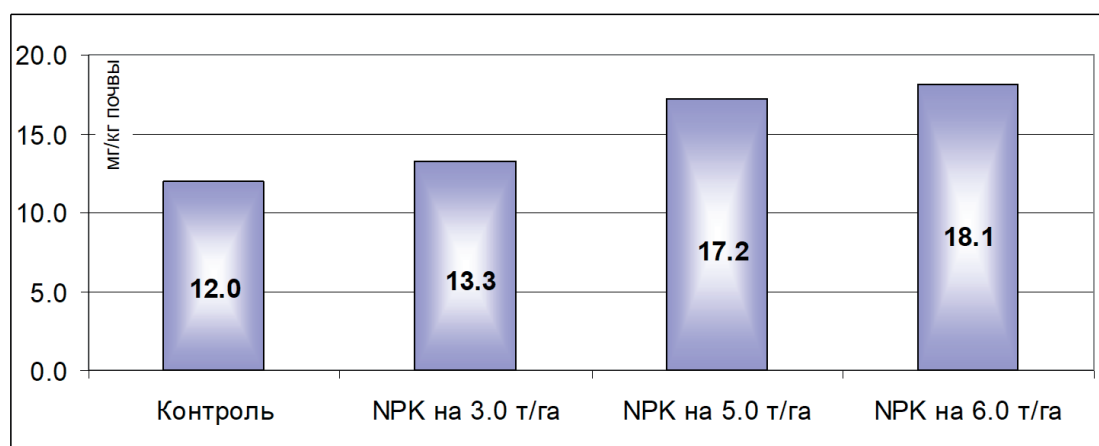


Рис. 2. Влияние минеральных удобрений на нитрифицирующую способность пахотного чернозема (2018–2020 гг.) ($HC_{05} = 1,1$), мг/кг

Корреляционный анализ содержания легкогидролизуемого азота и нитрифицирующей способности показал очень тесную взаимосвязь между ними – коэффициент корреляции составил 0,94 ед. Это дает возможность оптимизировать систему удобрений для сельскохозяйственных культур с учетом почвенно-климатического потенциала региона.

Выводы. Отсутствие минеральных удобрений способствует минимальному накоплению легкогидролизуемого азота в слое 0–40 см пахотного чернозема. Его содержание составляет 128 мг/кг почвы, что соответствует средней обеспеченности. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га не оказывает влияния на содержание легкогидролизуемого азота в черноземе. Интенсивный агрофон, обеспечивающий получение урожая 5,0 т/га зерна и выше, приводит к увеличению содержания легкогидролизуемого азота до 148 мг/кг почвы, что на 16 % выше значений контроля. Накопление данной фракции происходит не только в зоне непосредственного внесения удобрений, но и существенно глубже, вплоть до глубины 40 см.

Урожайность яровой пшеницы взаимосвязана с содержанием легкогидролизуемого азота в слое 0–40 см. Коэффициент корреляции составляет 0,8 ед., что делает возможным использовать данные для расчета доз минеральных удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур.

Установлена тесная корреляционная зависимость между содержанием легкогидролизуемого азота и нитрифицирующей способностью пахотного чернозема. Коэффициент корреляции составляет 0,94 ед., что указывает на возможность

проведения регрессионного анализа в системе математического моделирования минерального питания сельскохозяйственных культур.

Литература

1. *Stakhurlova L.D., Svistova I.D., Shcheglov D.I.*, 2007. Biological activity as an indicator of chernozem fertility in different biocenoses. // *Eurasian Soil Science*. 40. 694–699. DOI: 10.1134/S1064229307060117.
2. *Стекольников К.Е.* Органическое земледелие в России – благо или катастрофа // *Биосфера*. 2020. Т. 12. № 1-2. С. 53–62. DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.537.
3. *Гамзиков Г.П.* Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: Изд-во ИИЦ ГНУ СибН-СХБ Россельхозакадемии, 2013. 790 с.
4. *Еремин Д.И.* Агрогенная трансформация чернозема выщелоченного Северного Зауралья: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тюмень, 2012. 34 с.
5. *Абрамов Н.В., Еремина Д.В., Еремин Д.И.* Агроэкономическое обоснование применения минеральных удобрений под яровую пшеницу в Северном Зауралье // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2010. № 5. С. 11–17.
6. *Ражева Д.Р.* Содержание различных форм азота в почве при длительном сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного Южного Зауралья // *Вестник Алтайского ГАУ*. 2009. № 5. С. 35–39.
7. *Фадькин Г.Н., Костин Я.В.* Влияние длительного применения простых минеральных удобрений на азотный режим серой лесной

- тяжелосуглинистой почвы // Вестник Рязанского ГАУ им. П.А. Костычева. 2012. № 4 (16). С. 74–76.
8. Шаталина Л.П. Изменение азота общего и легкогидролизуемого чернозема выщелоченного в полевых севооборотах // Плодородие. 2018. № 5 (104). С. 35–38.
 9. Центило Л.В., Цюк А.А. Азотный режим чернозема типичного в зависимости от удобрения и обработки почвы // Биоресурсы и природопользование. 2019. Т. 11. № 1-2. С. 107–114.
 10. Глухих М.А., Калганова Т.С. Динамика азота в почвах Зауралья // АПК России. 2015. Т. 71. С. 118–125.
 11. Ахтямова А.А. Изменение химического состава запаханной соломы под действием агрохимикатов // Вестник Курганской ГСХА. 2017. № 4 (24). С. 17–20.
 12. Еремин Д.И., Ахтямова А.А. Химический состав растительных остатков сельскохозяйственных культур, выращенных на различном агрофоне в лесостепной зоне Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2017. № 2 (125). С. 32–38.
 13. Демина О.Н., Еремин Д.И. Влияние минеральных удобрений на микрофлору пахотного чернозема лесостепной зоны Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2 (155). С. 63–71. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-63-71.
 14. Абрамов Н.В. Биологический режим чернозема обыкновенного в процессе сельскохозяйственного использования // Аграрный вестник Урала. 2008. № 5. С. 35–37.
 4. Eremin D.I. Agrogennaya transformaciya chernozema vyschelochennogo Severnogo Zaural'ya: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. Tyumen', 2012. 34 s.
 5. Abramov N.V., Eremina D.V., Eremin D.I. Agroeconomicheskoe obosnovanie primeneniya mineral'nyx udobrenij pod yarovuyu pshenicu v Severnom Zaural'e // Sibirskij vestnik sel'skoxozyajstvennoj nauki. 2010. № 5. S. 11–17.
 6. Razheva D.R. Soderzhanie razlichnyx form azota v pochve pri dlitel'nom sel'skoxozyajstvennom ispol'zovanii chernozema vyschelochennogo YUzhnogo Zaural'ya // Vestnik Altajskogo GAU. 2009. № 5. S. 35–39.
 7. Fad'kin G.N., Kostin Ya.V. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya prostyx mineral'nyx udobrenij na azotnyj rezhim seroj lesnoj tyazhelosuglinistoj pochvy // Vestnik Ryazanskogo GAU im. P.A. Kostycheva. 2012. № 4 (16). S. 74–76.
 8. Shatalina L.P. Izmenenie azota obschego i legkogidrolizuemogo chernozema vyschelochennogo v polevyx sevooborotax // Plodorodie. 2018. № 5 (104). S. 35–38.
 9. Centilo L.V., Cyuk A.A. Azotnyj rezhim chernozema tipichnogo v zavisimosti ot udobreniya i obrabotki pochvy // Bioresursy i prirodopol'zovanie. 2019. T. 11. № 1-2. S. 107–114.
 10. Gluxix M.A., Kalganova T.S. Dinamika azota v pochvax Zaural'ya // AПК Rossii. 2015. T. 71. S. 118–125.
 11. Ahyamova A.A. Izmenenie ximicheskogo sostava zapaxannoj solomy pod dejstviem agrochimikatov // Vestnik Kurganskoj GSXA. 2017. № 4 (24). S. 17–20.
 12. Eremin D.I., Ahtyamova A.A. Ximicheskij sostav rastitel'nyx ostatkov sel'skoxozyajstvennyx kul'tur, vyraschennyx na razlichnom agrofone v lesostepnoj zone Zaural'ya // Vestnik KrasGAU. 2017. № 2 (125). S. 32–38.
 13. Demina O.N., Eremin D.I. Vliyanie mineral'nyx udobrenij na mikrofloru paxotnogo chernozema lesostepnoj zony Zaural'ya // Vestnik KrasGAU. 2020. № 2 (155). S. 63–71. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-63-71.
 14. Abramov N.V. Biologicheskij rezhim chernozema obyknovenного v processe sel'skoxozyajstvennogo ispol'zovaniya // Agrarnyj vestnik Urala. 2008. № 5. S. 35–37.

Literature

1. Stakhurlova L.D., Svistova I.D., Shcheglov D.I., 2007. Biological activity as an indicator of chernozem fertility in different biocenoses. // Eurasian Soil Science. 40. 694–699. DOI: 10.1134/S1064229307060117.
2. Stekol'nikov K.E. Organicheskoe zemledelie v Rossii – blago ili katastrofa // Biosfera. 2020. T. 12. № 1-2. S. 53–62. DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.537.
3. Gamzikov G.P. Agroximiya azota v agrocenozax. Novosibirsk: Izd-vo IIC GNU SibNSXB Ros-sel'hozakademii, 2013. 790 s.