

УДК 632.125+631.416.1+631.465

DOI: 10.19047/0136-1694-2024-121-28-46



Ссылки для цитирования:

Сыщиков Д.В., Березовский А.С., Агурова И.В. Влияние деградационных процессов на ферментативную активность и содержание форм минерального азота почв сельхозугодий // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. Вып. 121. С. 28-46. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-121-28-46

Cite this article as:

Syshchikov D.V., Berezovskiy A.S., Agurova I.V., The influence of degradation processes on enzymatic activity and the content of forms of mineral nitrogen in agricultural soils, Dokuchaev Soil Bulletin, 2024, V. 121, pp. 28-46, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-121-28-46

Благодарность:

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБНУ “Донецкий ботанический сад” по теме FREG-2023-0002 “Качественные и функциональные характеристики почв сельскохозяйственных угодий в степной зоне и пути восстановления их биологической продуктивности”, № 123101300198-3.

Acknowledgments:

The work was carried out within the framework of the state task of FSBSI DBG on the theme FREG-2023-0002 “Qualitative and functional characteristics of agricultural soils in the steppe zone and ways to restore their biological productivity”, No. 123101300198-3.

Влияние деградационных процессов на ферментативную активность и содержание форм минерального азота почв сельхозугодий

© 2024 г. Д. В. Сыщиков*, А. С. Березовский**, И. В. Агурова***

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
“Донецкий ботанический сад”, Россия,
ДНР, 283023, Донецк, пр. Ильича, 110,*

**<https://orcid.org/0000-0003-4044-1129>, e-mail: 2007dmitry@rambler.ru,*

***<https://orcid.org/0009-0006-1260-1921>, e-mail: berezovskii@list.ru,*

****<https://orcid.org/0000-0002-4583-6480>, e-mail: ir.agur@mail.ru.*

*Поступила в редакцию 26.01.2024, после доработки 08.04.2024,
принята к публикации 14.11.2024*

Резюме: Целью работы было изучение концентрации различных форм минерального азота и ферментов цикла азота в почвах сельхозугодий. В задачи исследований входило изучение содержания аммонийной и нитратной форм азота, а также активности уреазы и нитратредуктазы в почвах сельхозугодий на территории Донецкой Народной Республики (ДНР). Для исследования почв сельскохозяйственных угодий были выбраны модельные участки, расположенные в южной части Шахтерского района ДНР, представленные черноземами среднесмытыми мало-, слабо- и среднегумусированными. Контролем являлся участок со степной растительностью (чернозем обыкновенный мощный среднегумусный). Результаты проведенных исследований позволяют сделать выводы о развитии деградационных процессов на ряде модельных участков и об их влиянии на содержание аммонийного и нитратного азота в почвах сельхозугодий. Выращивание сельскохозяйственных культур с высоким уровнем выноса элементов минерального питания, склоновая поверхность участков, длительность возделывания зерновых культур на одних и тех же участках приводят к существенному снижению концентрации аммонийного и нитратного азота. Так, наиболее существенное снижение концентрации азота аммонийных соединений (на 77–82%) зафиксировано на модельных склоновых участках под кукурузой и подсолнечником. Анализ данных показал приуроченность обменного аммония к нижележащим генетическим горизонтам. Минимальная концентрация нитратов в пахотном горизонте зафиксирована при совместном влиянии таких неблагоприятных факторов, как: нерациональное расположение полей по элементам рельефа; нарушение условий севооборота; использование культур-предшественников с существенным уровнем выноса питательных элементов (пшеница, кукуруза). При изучении активности уреазы установлено, что низкое количество почвенных микроорганизмов, связанное с выращиванием кукурузы и подсолнечника, а также с развитием деградационных процессов различного генезиса, приводило к угнетению функционирования уреазы почв модельных участков. Максимальная активность уреазы наблюдалась на участках под озимой пшеницей и составила 68–72% по отношению к контрольным показателям. В результате проведенных исследований активности нитратредуктазы также установлено снижение ее значений на участках, использующихся для выращивания культур, формирующих большую фитомассу (кукуруза и подсолнечник).

Ключевые слова: деградация почв; нитратный азот; аммонийный азот; ферменты; уреазы; нитратредуктаза.

The influence of degradation processes on enzymatic activity and the content of forms of mineral nitrogen in agricultural soils

© 2024 D. V. Syshchykov*, A. S. Berezovskiy**, I. V. Agurova***

*Federal State Budgetary Scientific Institution "Donetsk botanical garden", ,
110 Illicha aven., Donetsk, 283023, Russian Federation,*

*<https://orcid.org/0000-0003-4044-1129>, e-mail: 2007dmitry@rambler.ru,

**<https://orcid.org/0009-0006-1260-1921>, e-mail: berezovskiiias@list.ru,

***<https://orcid.org/0000-0002-4583-6480>, e-mail: ir.agur@mail.ru.

Received 26.01.2024, Revised 08.04.2024, Accepted 14.11.2024

Abstract: The purpose of the work was to study the concentration of various forms of mineral nitrogen and nitrogen cycle enzymes in farmland soils. The objectives of the research included studying the content of ammonium and nitrate forms of nitrogen, as well as the activity of urease and nitrate reductase in soils of farmland on the territory of the Donetsk People's Republic (DPR). To study the soils of agricultural lands, model sites located in the southern part of the Shakhtersky district of the DPR were selected and represented by moderately washed-out chernozems with low, low and medium humus. The control was an area with steppe vegetation (ordinary chernozem, thick, with medium humus content). The results of the researches allow us to draw conclusions about the development of degradation processes in a number of model sites and their impact on the content of ammonium and nitrate nitrogen in agricultural soils. Growing crops removing substantial amount of mineral nutrients, the slope of the sites surface, and the duration of cultivation of grain crops in the same sites lead to a significant decrease in the concentration of ammonium and nitrate nitrogen. Thus, the most significant decrease in the concentration of nitrogen of ammonium compounds (by 77–82%) was recorded in model slope areas under maize and sunflower. Analysis of the data showed that exchange ammonium is confined to the underlying genetic horizons. The minimum concentration of nitrates in the arable horizon was recorded under the joint influence of such unfavorable factors as: unreasonable layout of fields along the relief elements; violation of crop rotation conditions; use of precursor crops with a significant level of removal of nutrients (wheat, maize). When studying the activity of urease, it was found that a low number of soil microorganisms associated with the cultivation of maize and sunflower, as well as with the development of degradation processes of various genesis, led to the suppression of the functioning of the urease of soils in model areas. The maximum urease activity was observed in areas under winter wheat and amounted to 68–72% in relation to the control indicators. As a result of studies

of nitrate reductase activity, a decrease in its values was also found in areas used to grow crops that form a large phytomass (maize and sunflower).

Keywords: soil degradation; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; enzymes; urease; nitrate reductase.

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров является основополагающим составным элементом земельных ресурсов страны, от состояния которого зависит продуктивность и устойчивость последних к деградационным процессам. Не всегда возможно рассматривать урожай как критерий плодородия. К определяющим критериям состояния почв можно отнести такие показатели, как характеристики и режимы почв, а также их состав, поскольку в них заложены показатели изменений, обусловленных деградацией или мелиорацией. В связи с этим к объективному критерию плодородия почвы следует отнести оценку ее эколого-хозяйственного состояния, способности эффективно выполнять свои агрономические и экологические функции (Молчанов и др., 2017).

Очень долгое время в сельскохозяйственном производстве сохранялось устойчивое мнение о том, что черноземы – ресурс, из которого можно безнаказанно постоянно черпать те или иные энергетические запасы для жизнеобеспечения человека. Однако исследованиями многих ученых в последние десятилетия эта мысль опровергается. Так, с каждым годом уровень деградационных процессов в черноземах возрастает, приводя зачастую к негативным последствиям (Кочетов и др., 2000; Корнейко, 2013). Исследования, посвященные изучению процессов агрогенной трансформации почв, выявлению влияния различных технологий на свойства почвенного покрова, оценке степени развития деградационных процессов почв проводятся на территории России (Замотаев и др., 2016; Столбовой, Гребенников, 2020; Белобров и др., 2020; Слабунова, Арискина, 2022). Признаками деградации почв являются увеличение значений обменной и гидролитической кислотности, изменение качественного и количественного состава почвенно-поглощающего комплекса, снижение запасов гумуса, а также степени обеспеченности элементами минерального питания, нарушение физических свойств почв и снижение ферментативной

и биологической активности.

Основную роль в формировании плодородия почв и в продукционном процессе сельскохозяйственных культур выполняет азот как один из основных элементов минерального питания растений в связи с тем, что основная часть почвенного азота входит в состав гумуса и растений (Завалин и др., 2018). Особенности баланса азота в земледелии обусловлены тем, что он в процессах синтеза и распада органического вещества участвует в различных формах (окисленные NO_3^- , NO_2^- , NO^- ; восстановленные NH_4^+ , NH_2^+) (Васильченко, 2014). Из ряда соединений почвенного азота, непосредственно усвояемых растениями, выделяются его минеральные формы – нитраты и аммоний, причем последний может находиться в почве не только в обменном, но и в необменном состоянии (Кудяров, 1989).

Одним из основных критериев плодородия почвы является ее ферментативная активность. Любая почва характеризуется определенным уровнем активности тех или иных ферментов, что обусловлено их многообразием и количественным содержанием (Швакова, 2013). Почвы, подверженные существенному антропогенному воздействию, характеризуются измененным составом микроорганизмов, а также тенденцией к снижению биологической активности, что приводит к трансформации биогеохимических циклов биогенных элементов. Функционирование микроорганизмов цикла азота можно использовать в качестве интегрального показателя биологической активности почв и одного из главных критериев оценки плодородия. Уреаза – это фермент, который катализирует гидролиз мочевины до аммиака и диоксида углерода. Этот фермент поступает в почву в составе растительных остатков, органических и азотных удобрений, а также образуется в самой почве в качестве продукта превращения азотистых органических соединений (Дроздова и др., 2010). Нитратредуктаза – один из ключевых ферментов азотного обмена почвы, который используется как диагностический показатель ее состояния (Пронина, Баздырова, 2002; Казеев и др., 2003). Его функция заключается в восстановлении нитрат-иона до нитрит-иона.

Важность проведения фундаментальных научных исследований, связанных с изучением специфики процессов деградации

почв, не вызывает сомнений. Целью исследований было изучение концентрации различных форм минерального азота, а также ферментов цикла азота в почвах сельхозугодий. В задачи исследований входило изучение содержания аммонийной и нитратной форм азота, а также активности уреазы и нитратредуктазы в почвах сельхозугодий на территории Донецкой Народной Республики (ДНР).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись почвы. Исследования проводились на модельных участках южной части Шахтерского района ДНР. Для исследования почвенного покрова деградированных агроэкосистем были выбраны модельные участки различной степени деградации. При их выборе учитывались такие факторы, как распространенность типа нарушения в пределах района исследований, степень антропогенной трансформации, тип возделываемой культуры. Отбор проб почвы проводился в сентябре 2023 г.

Участок № 1. Участок со степной растительностью, режим абсолютного заповедания (с. Самсоново, Новоазовский район, 47°17'18.42" N; 38°10'47.75" E). Чернозем обыкновенный мощный среднегумусный.

Участок № 2. Участок со степной растительностью для выгона скота (с. Самсоново, Новоазовский район, 47°17'25.66" N; 38°10'25.32" E). Чернозем обыкновенный мощный среднегумусный.

Участок № 3. Поле под озимой пшеницей (с. Розовка, Шахтерский район, 48°10'04.6" N; 38°12'32.7" E). Чернозем обыкновенный малогумусный.

Участок № 4. Склоновый участок поля под озимой пшеницей, второй год монокультуры (с. Новоселовка, Шахтерский район, 48°09'40.1" N; 38°08'16.7" E). Посевы значительно загрязнены сорно-рудеральной растительностью: *Ambrosia artemisiifolia* L., *Convolvulus arvensis* L., *Carduus crispus* L., *Bromus arvensis* L. Чернозем обыкновенный среднесмытый малогумусный.

Участок № 5. Склоновый участок поля под подсолнечником (с. Верхняя Крынка, Шахтерский район, 48°10'47.9" N;

38°08'58.0" E). Чернозем обыкновенный среднесмытый слабо гумусированный.

Участок № 6. Поле под паром, первый год после подсолнечника (с. Розовка, Шахтерский район, 48°10'41.8" N; 38°15'07.2" E). Чернозем обыкновенный малогумусный.

Участок № 7. Склоновый участок поля под яровой пшеницей (г. Ждановка, Шахтерский район, 48°10'37.5" N; 38°16'06.1" E). Чернозем обыкновенный среднесмытый среднегумусный.

Участок № 8. Склоновый участок поля под озимой пшеницей (п. г. т. Нижняя Крынка, Шахтерский район, 48°06'13.9" N; 38°12'05.9" E). Чернозем обыкновенный среднесмытый малогумусный.

Участок № 9. Поле под пшеницей, второй год монокультуры (с. Ровное, Шахтерский район, 48°06'28.8" N; 38°33'51.9" E). Чернозем обыкновенный малогумусный.

Участок № 10. Поле под пшеницей, первый год после кукурузы (с. Ровное, Шахтерский район, 48°06'21.9" N; 38°33'57.5" E). Чернозем обыкновенный слабо гумусированный.

Участок № 11. Склоновый участок поля под озимой пшеницей (с. Рассыпное, Шахтерский район, 48°08'43.5" N; 38°35'49.3" E). Чернозем обыкновенный среднесмытый малогумусный.

Участок № 12. Склоновый участок поля под паром после пшеницы (с. Рассыпное, Шахтерский район, 48°08'46.6" N; 38°35'43.7" E). Чернозем обыкновенный среднесмытый малогумусный.

Участок № 13. Склоновый участок поля под паром после кукурузы (с. Рассыпное, Шахтерский район, 48°08'38.7" N; 38°35'49.9" E). Чернозем обыкновенный среднесмытый слабо гумусированный.

Описание почвенных разрезов проводили согласно общепринятым методикам (Методические рекомендации, 1999; Розанов, 1983). Отбор почвенных образцов проводили по почвенным горизонтам (Методы почвенной микробиологии, 1991).

Концентрация аммонийного азота (обменного аммония) определялась общепринятым методом (Практикум по агрохи-

мии..., 2001). Содержание нитратного азота – по методу Грандваль-Ляжу (Практикум по агрохимии..., 2001). Активность уреазы исследовалась по Казееву (Казеев и др., 2003), нитратредуктазы – по Хазиеву (Хазиев, 1982). Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятым методам параметрической статистики на 95%-ном уровне значимости по Б.А. Доспехову (Доспехов, 1985).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных, представленных в таблице 1, показал, что распределение аммонийного азота в пахотном горизонте большинства модельных участков достаточно монотонно и составляет 62–79% по сравнению с контрольными показателями. Это связано с тем, что на накопление обменного аммония слабое влияние оказывают обработка почвы и предшествующая культура. Можно предположить, что потери аммонийного азота на формирование растительной биомассы в достаточной степени компенсируются как наличием в почве пожнивных остатков прошлых лет, так и внесением минеральных удобрений в дозах, предусмотренных региональной агротехнологией культивирования сельскохозяйственных растений. Наряду с этим выращивание сельскохозяйственных культур с высоким уровнем выноса элементов минерального питания, а также усиление процессов нитрификации, обусловленной улучшением аэрации при выведении полей севооборота под пар, привели к существенному снижению концентрации азота аммонийных соединений на 77–82% на модельных участках №№ 5, 6 и 11. Наиболее приближенными к показателям зональной почвы по содержанию обменного аммония были участки №№ 2 и 11, в генетических горизонтах которых статистически достоверные различия, по отношению к контролю, отсутствовали.

Изучение распределения аммонийного азота по почвенному профилю показало, что он преимущественно локализуется в нижележащих генетических горизонтах.

Таблица 1. Содержание аммонийного азота (мг N-NH₄⁺/100 г почвы) в почвах сельскохозяйственных угодий

Table 1. Ammonium nitrogen content (mg N-NH₄⁺/100 g soil) in soils of agricultural lands

Участок/ горизонт	M ± m	% к контролю	Tst
№ 1 A	5.62 ± 0.09	—	—
№ 1 B	6.27 ± 0.11	—	—
№ 2 A	5.28 ± 0.16	94.0	1.85
№ 2 B	5.97 ± 0.14	95.2	1.68
№ 3 A	4.12 ± 0.22*	73.3	6.36
№ 3 B	4.88 ± 0.09*	77.9	9.67
№ 4 A	3.47 ± 0.03*	61.6	22.4
№ 4 B	4.19 ± 0.05*	66.9	17.66
№ 5 A	1.84 ± 0.02*	32.7	40.98
№ 5 B	2.42 ± 0.02*	38.6	35.25
№ 6 A	1.13 ± 0.09*	20.1	34.29
№ 6 B	1.67 ± 0.05*	26.7	39.03
№ 7 A	3.48 ± 0.41*	62.0	5.12
№ 7 B	4.02 ± 0.09*	64.2	15.77
№ 8 A	4.06 ± 0.16*	72.1	8.62
№ 8 B	4.37 ± 0.05*	69.8	16.18
№ 9 A	4.44 ± 0.16*	79.0	6.54
№ 9 B	4.72 ± 0.38*	75.3	3.92
№ 10 A	4.14 ± 0.16*	73.7	8.12
№ 10 B	4.73 ± 0.06*	75.5	12.28
№ 11 A	5.68 ± 0.13	101.1	0.38
№ 11 B	6.15 ± 0.11	98.1	0.81
№ 12 A	4.04 ± 0.29*	71.8	5.22
№ 12 B	4.37 ± 0.07*	69.8	14.77
№ 13 A	1.02 ± 0.03*	18.1	47.99
№ 13 B	1.45 ± 0.03*	23.1	42.99

Примечание. Здесь и далее M – среднее значение признака, m – ошибка среднего, % – процент превышения значений по отношению к аналогичным почвенным горизонтам участка № 1, Tst – значения критерия Стьюдента, * – различия статистически достоверны при $p < 0.05$.

Note. Here and after, M – is the average value of the characteristic, m – is the error of the mean, % – is the percentage of values exceeding those of similar

soil horizons in site No. 1, Tst – is the Student's t-test value, * – is the differences are statistically significant at $p < 0.05$.

По нашему мнению, данный факт связан с тем, что преимущественная масса корневой системы выращиваемых растений, распределена именно в пределах пахотного горизонта, что приводит к активному поглощению данной формы минерального азота, а также ростом иммобилизации соединений аммония вследствие усиления фиксации NH_4^+ глинистыми минералами. Наряду с этим в подпахотном горизонте почв модельных участков характер распределения обменного аммония по отношению к показателям зональной почвы был аналогичен отмеченному для пахотного горизонта.

При изучении содержания нитратного азота установлено, что, в отличие от обменного аммония, его концентрация в пахотном горизонте практически всех модельных участков существенно ниже последнего. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами исследований В.О. Бусыгина с соавторами, которыми показано, что концентрации нитратов и аммония в почве не имеют прямой односторонней зависимости друг с другом (Бусыгин и др., 2019). Также следует отметить, что наиболее низкая концентрация нитратов в пахотном горизонте зафиксирована при совместном влиянии нескольких неблагоприятных факторов, таких как: нерациональное расположение полей по элементам рельефа, обуславливающее усиление внутripочвенного и поверхностного выноса элементов; длительное возделывание зерновых культур на одних и тех же участках; использование в севообороте культур-предшественников с высоким уровнем выноса питательных элементов. Вероятнее всего, это и обусловило уменьшение количества нитратов на модельных участках №№ 5, 9, 10, 12 и 13 на 76–82% по сравнению с контрольными показателями (табл. 2).

На полях под озимой пшеницей (участки №№ 3, 8 и 11) снижение концентрации нитратного азота было выражено в меньшей степени, и его уровень находился в пределах 59–78% относительно зональной почвы, что, по нашему мнению, связано с видовыми особенностями культуры. Кроме того, низкий уровень антропогенного влияния на участке № 2 обусловил отсутствие

статистически достоверных различий в содержании нитратов по сравнению с контролем.

Таблица 2. Содержание нитратного азота (мг N-NO₃/100 г почвы) в почвах сельскохозяйственных угодий

Table 2. Nitrate nitrogen content (mg N-NO₃/100 g soil) in soils of agricultural lands

Участок/ горизонт	M ± m	% к контролю	Tst
№ 1 A	3.67 ± 0.04	—	—
№ 1 B	1.82 ± 0.11	—	—
№ 2 A	3.54 ± 0.08	96.5	1.45
№ 2 B	1.64 ± 0.04	90.1	1.54
№ 3 A	2.18 ± 0.01*	59.4	36.14
№ 3 B	0.73 ± 0.05*	40.1	9.02
№ 4 A	1.42 ± 0.04*	38.6	39.69
№ 4 B	0.72 ± 0.09*	39.8	7.89
№ 5 A	0.9 ± 0.01*	24.4	61.73
№ 5 B	0.63 ± 0.05*	34.7	9.92
№ 6 A	1.42 ± 0.03*	38.7	42.52
№ 6 B	0.71 ± 0.02*	39.3	10.11
№ 7 A	1.26 ± 0.05*	34.3	38.2
№ 7 B	0.64 ± 0.04*	35.1	10.4
№ 8 A	2.25 ± 0.01*	61.4	32.24
№ 8 B	0.77 ± 0.02*	42.5	9.56
№ 9 A	0.66 ± 0.03*	18.0	55.61
№ 9 B	0.16 ± 0.02*	8.6	15.2
№ 10 A	0.91 ± 0.03*	24.8	51.77
№ 10 B	0.34 ± 0.01*	18.9	13.76
№ 11 A	2.87 ± 0.07*	78.2	10.08
№ 11 B	0.77 ± 0.03*	42.2	9.43
№ 12 A	0.96 ± 0.01*	26.1	58.94
№ 12 B	0.59 ± 0.01*	32.3	11.44
№ 13 A	0.88 ± 0.03*	24.0	50.1
№ 13 B	0.61 ± 0.04*	33.5	10.63

Улучшение гидротермических условий и достаточно высокая биологическая активность верхнего слоя почвы, вероятнее всего, и обусловили максимальный уровень накопления нитратного азота в пределах пахотного горизонта по сравнению с нижележащим горизонтом (табл. 2). Характер распределения данной формы минерального азота в нижележащих почвенных горизонтах модельных участков по отношению к контрольным показателям был аналогичен таковому для пахотного горизонта.

При изучении активности уреазы получены данные, которые демонстрируют существенное варьирование показателя активности данного фермента, что зависит от расположения модельного участка, степени его деградации, почвенного горизонта (табл. 3).

Максимальная активность уреазы наблюдалась на участках под озимой пшеницей (участки №№ 3 и 11) и составила 68–72% по отношению к контрольным показателям. Практически аналогичные показатели были получены и на участке под озимой пшеницей (участок № 7). Высокие показатели ферментативной активности на данных участках обусловлены наличием большого количества растительных остатков, которые являются источником фермента и одновременно служат субстратом для его функционирования. Второй год монокультуры, а также выращивание кукурузы негативно сказались на уреазной активности почвы. Так, на участках №№ 4 и 10 активность уреазы оказалась несколько ниже и составила 41–49% по отношению к контролю.

Наиболее низкие показатели уреазной активности были зафиксированы на участках под кукурузой и подсолнечником (участки №№ 5, 6, 13) и составляли 16–36% по отношению к показателям зональной почвы.

Изменение активности уреазы по горизонтам имеет четкую картину распределения. Так, на всех мониторинговых участках ее активность в горизонте А на 33–54% выше, чем в горизонте В, так как уреазы иммобилизуется в месте своего образования, а именно в верхнем горизонте почвы, и слабо мигрирует по почвенному профилю.

Таблица 3. Активность уреазы (мг $\text{NH}_3/10$ г почвы за сутки) в почвах сельскохозяйственных угодий

Table 3. Urease activity (mg $\text{NH}_3/10$ g soil per day) in soils of agricultural lands

Участок/ горизонт	$M \pm m$	% к контролю	Tst
№ 1 А	44.0 ± 1.77	—	—
№ 1 В	28.9 ± 1.03	—	—
№ 2 А	$60.5 \pm 3.40^*$	137.7	4.32
№ 2 В	$39.1 \pm 0.80^*$	135.3	7.83
№ 3 А	$31.6 \pm 0.64^*$	71.8	6.60
№ 3 В	$20.6 \pm 0.53^*$	71.4	7.15
№ 4 А	$21.7 \pm 0.96^*$	49.3	6.17
№ 4 В	$14.0 \pm 0.84^*$	48.6	11.19
№ 5 А	$16.1 \pm 0.33^*$	36.6	12.40
№ 5 В	$9.7 \pm 0.31^*$	33.5	17.93
№ 6 А	$10.4 \pm 0.27^*$	23.7	15.62
№ 6 В	$4.8 \pm 0.10^*$	16.7	23.33
№ 7 А	$28.9 \pm 0.69^*$	65.6	17.69
№ 7 В	$17.4 \pm 0.22^*$	60.2	10.97
№ 8 А	$18.3 \pm 0.21^*$	41.6	8.49
№ 8 В	$11.4 \pm 0.36^*$	39.5	16.07
№ 9 А	$20.2 \pm 1.16^*$	46.0	12.16
№ 9 В	$13.0 \pm 0.13^*$	45.2	15.30
№ 10 А	$19.6 \pm 0.61^*$	44.6	12.71
№ 10 В	$12.0 \pm 1.13^*$	41.6	11.08
№ 11 А	$31.9 \pm 1.46^*$	72.6	10.64
№ 11 В	$19.8 \pm 0.55^*$	68.4	7.83
№ 12 А	$14.9 \pm 0.79^*$	33.9	6.22
№ 12 В	$8.2 \pm 0.83^*$	28.5	15.66
№ 13 А	$10.7 \pm 0.19^*$	24.3	16.35
№ 13 В	$5.9 \pm 0.43^*$	20.5	20.61

Распашка почв ведет к угнетению активности уреазы, так как данный фермент активизируется преимущественно в верхнем, гумусоаккумулятивном горизонте. На склоновых участках также отмечено снижение функционирования данного фермента в связи

с вымыванием органической составляющей. Неодинаковая интенсивность выноса минеральных форм азота сельскохозяйственными культурами обусловила различия и в активности уреазы. Низкое количество почвенных микроорганизмов, связанное с культивированием кукурузы и подсолнечника, а также с развитием деградационных процессов различного генезиса, привело к угнетению функционирования уреазы почв модельных участков, а уровень ее активности, согласно Гапонюку и Малахову, определен как “средний” (Казеев и др., 2003).

При исследовании активности нитратредуктазы установлено, что регулярное использование минеральных азотсодержащих удобрений, которые являются субстратом для функционирования этого фермента, существенно повысило уровень ее активности в почвах изученных модельных участков (табл. 4).

Максимальные показатели активности нитратредуктазы были отмечены на мониторинговых участках №№ 3, 4, 7, 8, 9, 11 под озимой и яровой пшеницей и составили 124–288% относительно контрольных показателей.

На участках №№ 5, 6 и 13, которые использовались для выращивания культур с большой фитомассой (кукуруза и подсолнечник), выявлен гораздо меньший уровень функционирования данного фермента, составивший 23–52% по отношению к контрольному участку. Следует отметить, что практически во всех случаях активность нитратредуктазы в горизонте В выше, чем в горизонте А, так как максимальная активность фермента осуществляется в анаэробных условиях и при повышенной влажности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать выводы о развитии деградационных процессов в ряде модельных участков и их влиянии на содержание аммонийного и нитратного азота в почвах сельхозугодий. Выращивание сельскохозяйственных культур с высоким уровнем выноса элементов минерального питания, расположение полей, их уклон, длительность возделывания зерновых культур на одних и тех же участках приводят к существенному снижению концентрации азота аммонийных и нит-

ратных соединений.

Таблица 4. Активность нитратредуктазы (мг NO₃⁻/10 г почвы за сутки) в почвах сельскохозяйственных угодий

Table 4. Nitrate reductase activity (mg NO₃⁻/10 g soil per day) in soils of agricultural lands

Участок/ горизонт	M ± m	% к контролю	Tst
№ 1 А	38.1 ± 1.26	—	—
№ 1 В	14.4 ± 2.77	—	—
№ 2 А	34.2 ± 1.87	89.7	1.74
№ 2 В	13.7 ± 0.31	95.6	0.23
№ 3 А	66.6 ± 0.42*	174.8	21.46
№ 3 В	41.4 ± 2.56*	287.9	7.17
№ 4 А	57.4 ± 1.66*	150.8	9.29
№ 4 В	20.6 ± 2.47	143.0	1.66
№ 5 А	14.8 ± 1.97*	38.9	9.96
№ 5 В	12.8 ± 0.66	89.2	0.55
№ 6 А	18.6 ± 0.74*	48.9	13.31
№ 6 В	7.5 ± 0.84*	52.5	2.36
№ 7 А	56.6 ± 1.08*	148.6	11.18
№ 7 В	19.3 ± 1.16	134.5	1.65
№ 8 А	50.0 ± 0.37*	131.2	9.04
№ 8 В	20.2 ± 0.87	140.4	2.00
№ 9 А	48.7 ± 0.96*	127.8	6.68
№ 9 В	21.5 ± 0.85*	149.5	2.46
№ 10 А	47.2 ± 1.08*	123.8	5.46
№ 10 В	22.2 ± 0.32*	154.2	2.79
№ 11 А	46.3 ± 0.92*	121.5	5.26
№ 11 В	17.8 ± 0.97	124.0	1.18
№ 12 А	24.2 ± 3.18*	63.4	4.07
№ 12 В	8.60 ± 1.40	60.1	1.85
№ 13 А	9.10 ± 1.23*	23.9	16.44
№ 13 В	5.40 ± 1.44*	37.5	2.87

При изучении активности уреазы установлено, что низкое количество почвенных микроорганизмов, связанное с выращива-

нием ряда сельскохозяйственных культур, а также с развитием деградационных процессов различного генезиса, приводило к угнетению функционирования уреазы почв модельных участков. Наиболее низкие показатели уреазной активности были зафиксированы на участках под кукурузой и подсолнечником (участки №№ 5, 6, 13) и составляли 16–36% по отношению к контрольным показателям. В результате проведенных исследований активности нитратредуктазы также установлено снижение ее значений на участках, используемых для выращивания культур с большой биомассой (кукуруза и подсолнечник).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобров В.П., Дридисер В.К., Юдин С.А. Влияние технологий земледелия на морфометрические признаки черноземов // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. № 102. С. 125–142. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-102-125-142](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-125-142).
2. Бусыгин В.О., Бунин А.А., Даниленко Ю.А. Содержание нитратной и аммонийной форм азота в почвах санатория “Сосновая роща” и обеспеченность ими растений // Молодой ученый. 2019. № 5(243). С. 85–88.
3. Васильченко Н.И. Агрогенная трансформация азота в почвах северного Казахстана // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 6(116). С. 67–71.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Изд-во “Агропромиздат”, 1985. 351 с.
5. Дроздова Н.И., Свириденко В.Г., Хаданович А.В., Панфиленко О.А. Исследование ферментативной активности дерново-подзолистых почв // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2010. № 3(60). С. 84–88.
6. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Азот в агроecosистеме на черноземных почвах. М.: РАН, 2018. 180 с.
7. Замотаев И.В., Белобров В.П., Курбатова А.Н., Белоброва Д.В. Агрогенная и постагрогенная трансформация почв Львовского района Курской области // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 97–114. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-85-97-114](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-97-114).
8. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований.

Ростов н/Д: изд-во РГУ, 2003. 216 с.

9. *Корнейко Н.И.* Мониторинг кислотности пахотных почв в Белгородской области // Успехи современного естествознания. 2013. № 9. С. 16–24.

10. *Кочетов И.С., Лукин С.В., Тютюнов С.И.* Экологические аспекты использования средств химизации в эрозионно-опасных ландшафтах // Агрохимический вестник. 2000. № 2. С. 15–18.

11. *Кудеяров В.Н.* Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. 216 с.

12. Методические рекомендации по морфологическому описанию почв / сост. *Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н., Герасько Л.И.* Томск: Изд-во СО РАН, 1999. 39 с.

13. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под. ред. *Звягинцева Д.Г.* М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

14. *Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Разумов В.В., Макаров О.А., Цветнов Е.В., Ермияев Я.Р., Шишконокова Е.А., Харзинов С.М.* Деградация горных черноземов северного склона джигальского хребта (Центральный Кавказ) и ее эколого-экономические последствия // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. № 87. С. 86–99. DOI: [10.19047/0136-1694-2017-87-86-99](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-87-86-99).

15. Практикум по агрохимии / под ред. *Минеева В.Г.* М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

16. *Пронина Н.Б., Баздыров Г.И.* Особенности ферментативной активности почв и растений в условиях эрозионного стресса // Известия ТСХА. 2002. Вып. 2. С. 50–65.

17. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. М.: МГУ, 1983. 320 с.

18. *Слабунова А.В., Арискина Ю.Ю.* Оценка степени дегградации почв на примере сельскохозяйственных земель Куйбышевского района Ростовской области // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4. № 1. С. 14–31. DOI: [10.31774/2658-7890-2022-4-1-14-31](https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-14-31).

19. *Столбовой В.С., Гребенников А.М.* Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. № 104. С. 31–67. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-104-31-67](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-31-67).

20. *Хазиев Ф.Х.* Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 204 с.

21. *Швакова Э.В.* Изменение активности уреазы при повышенных содержаниях тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu) в почве // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. 2013. № 2. С. 61–66.

REFERENCES

1. Belobrov V.P., Dridiger V.K., Yudin S.A., Influence of agricultural technologies on the morphological properties of chernozems, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, No. 102, pp. 125–142, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-102-125-142](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-125-142).
2. Busygin V.O., Bunin A.A., Danilenko Yu.A., Soderzhanie nitratnoi i ammoniinoi form azota v pochvakh sanatoriya “Sosnovaya roshcha” i obespechennost' imi rastenii (The content of nitrate and ammonium forms of nitrogen in the soils of the Sosnovaya Roshcha sanatorium and the provision of plants with them), *Molodoi uchenyi*, 2019, No. 5(243), pp. 85–88.
3. Vasil'chenko N.I., Agrogennaya transformatsiya azota v pochvakh severnogo Kazakhstana (Agrogenic transformation of nitrogen in soils of northern Kazakhstan), *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, No 6(116), pp. 67–71.
4. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results), Moscow: Izd-vo “Agropromizdat”, 1985, 351 p.
5. Drozdova N.I., Sviridenko V.G., Khadanovich A.V., Panfilenko O.A., Issledovanie fermentativnoi aktivnosti dernovo-podzolistykh pochv (Study of enzymatic activity of soddy-podzolic soils), *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny*, 2010, No. 3(60), pp. 84–88.
6. Zavalin A.A., Sokolov O.A., Shmyreva N.Ya., *Azot v agrosisteme na chernozemnykh pochvakh* (Nitrogen in the agricultural system on chernozem soils), Moscow: RAN, 2018, 180 p.
7. Zamotaev I.V., Belobrov V.P., Kurbatova A.N., Belobrova D.V., Anthropogenic and post-Anthropogenic transformation of soils of l'gov region of kursk oblast, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, No 85, pp. 97–114, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-85-97-114](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-97-114).
8. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F., *Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniy* (Biological diagnostics and indication of soils: methodology and research methods), Rostov n/D: Izd-vo RGU, 2003, 216 p.
9. Korneiko N.I., Monitoring kislotnosti pakhotnykh pochv v Belgorodskoi oblasti (Monitoring the acidity of arable soils in the Belgorod region), *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2013, No. 9, pp. 16–24.
10. Kochetov I.S., Lukin S.V., Tyutyunov S.I., *Ekologicheskie aspekty ispol'zovaniya sredstv khimizatsii v erozionno-opasnykh landshaftakh* (Environmental aspects of the use of chemical agents in erosion-hazardous landscapes), *Agrokhimicheskii vestnik*, 2000. No. 2, pp. 15–18.

11. Kudoyarov V.N., *Tsisl azota v pochve i effektivnost' udobrenii* (Soil nitrogen cycle and fertilizer efficiency), Moscow: Nauka, 1989, 216 p.
12. Dyukarev A.G., Pologova N.N., Geras'ko L.I. (comp.), *Metodicheskie rekomendatsii po morfologicheskomu opisaniyu pochv* (Guidelines for the morphological description of soils), Tomsk: Izd-vo "SO RAN", 1999, 39 p.
13. Zvyagintsev D.G. (Ed.), *Metody pochvennoi mikrobiologii i biokhimii* (Methods of soil microbiology and biochemistry), Moscow: Izd-vo MGU, 1991, 304 p.
14. Molchanov E.N., Savin I.Yu., Razumov V.V., Makarov O.A., Tsvetnov E.V., Ermiyaev Ya.R., Shishkonakova E.A., Harzinov S.M., The Degradation of the Mountain Chernozems of the Slope of Djinal Ridge (Central Caucasus) and its Ecologic and Economic Consequences, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2017, No. 87, pp. 86–99, DOI: [10.19047/0136-1694-2017-87-86-99](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-87-86-99).
15. Mineev V.G. (Ed.), *Praktikum po agrokhimii* (Workshop on agricultural chemistry), Moscow: Izd-vo MGU, 2001, 689 p.
16. Pronina N.B., Bazdyrov G.I., Osobennosti fermentativnoi aktivnosti pochv i rastenii v usloviyakh erozionnogo stressa (Features of enzymatic activity of soils and plants under conditions of erosion stress), *Izvestiya TSKhA*, 2002, Vol. 2, pp. 50–65.
17. Rozanov B.G., *Morfologiya pochv* (Soil morphology), Moscow: Isd-vo MGU, 1983, 320 p.
18. Slabunova A. V., Ariskina Yu. Yu., Otsenka stepeni degradatsii pochv na primere sel'skokhozyaistvennykh zemel' Kuibyshevskogo raiona Rostovskoi oblasti (Assessment of the degree of soil degradation using the example of agricultural lands in the Kuibyshevsky district of the Rostov region), *Ekologiya i vodnoe khozyaistvo*, 2022, Vol. 4, No 1, pp. 14–31, DOI: [10.31774/2658-7890-2022-4-1-14-31](https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-14-31).
19. Stolbovoy V.S., Grebennikov A.M., Soil quality indicators of arable lands in the Russian Federation, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, No 104, pp. 31–67, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-104-31-67](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-31-67).
20. Khaziev F.Kh., *Sistemno-ekologicheskii analiz fermentativnoi aktivnosti pochv* (System-ecological analysis of soil enzymatic activity), Moscow: Nauka, 1982, 204 p.
21. Shvakova E.V., Izmenenie aktivnosti ureazy pri povyshennykh soderzhaniyakh tyazhelykh metallov (Pb, Zn, Cu) v pochve (Changes in urease activity at elevated levels of heavy metals (Pb, Zn, Cu) in the soil), *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta*, 2013, No 2, pp. 61–66.