



Научная статья/Research Article

УДК 631.416.1

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-3-9

Александр Анатольевич Белоусов¹, Елена Николаевна Белоусова²✉

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

¹svoboda57130@mail.ru

²svobodalist571301858@mail.ru

АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ АЗОТНОГО ЦИКЛА АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА НА МИНИМАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

Цель исследований – выявить воздействие бесплужного рыхления почвы на характер пре-вращения фракционного состава легкогидролизующих соединений азота. Наблюдения осуществ-лялись на стационарном участке ООО «ОПХ «Дары Малиновки» Сухобузимского района в Крас-ноярской лесостепи. Объектом исследований был чернозем обыкновенный среднегумусный среднетяжелосуглинистый на красно-бурой глине. В течение вегетационного сезона три раза отбирались почвенные образцы из слоев 0–10, 10–20 см методом рандомизации. Изуча-лись следующие варианты опыта: 1) отвальная вспашка(st); 2) минимальная обработка (диско-вание); 3) плоскорезная культивация. В 2017 г. земельный массив обрабатывался по типу ранне-го пара, а в 2018 г. на опытном стационаре высевалась яровая пшеница сорта Новосибирская-31, в 2019 г. – ячмень сорта Ача. Уровень протеазной активности почвы исследуемых вариан-тов оценивался как высокий. Величина протеолитической активности была максимальна на почве, обрабатываемой отвальным плугом. Поверхностная обработка почвы дисковыми ору-диями определила достоверное снижение активности протеазы в слое 0–10 см к концу жизнен-ного цикла яровой пшеницы. С другой стороны, рыхление плоскорезом способствовало существенному повышению активности протеазы в слое 0–10 см. Плоскорезный способ рыхления обу-словил также существенное повышение уровня активности уреазы относительно отвальной вспашки и поверхностного дискования. Применение плоскорезной культивации сопровождалось увеличением активности уреазы преимущественно в подсеменном слое. Применение дисковых орудий значимо ослабляло уровень гидролиза мочевины и смещало ее максимум на слой 10–20 см.

Ключевые слова: технологии основной обработки почвы, ферментативная активность почвы, уреазы, протеазы, азотсодержащие соединения

Для цитирования: Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Активность ферментов азотного цикла агро-черноземов в условиях перехода на минимальные технологии обработки // Вестник КрасГАУ. 2022. № 12. С. 3–9. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-3-9.

Alexander Anatolievich Belousov¹, Elena Nikolaevna Belousova²✉

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

¹svoboda57130@mail.ru

²svobodalist571301858@mail.ru

ENZYME ACTIVITY OF THE NITROGEN CYCLE OF AGRICHERNOZEM IN CONDITIONS OF TRANSITION TO MINIMUM PROCESSING TECHNOLOGIES

The purpose of research is to reveal the effect of plowless soil loosening on the nature of the transformation of the fractional composition of easily hydrolysable nitrogen compounds. Observations were carried out at the stationary site of LLC "OPKh "Dary Malinovki" of the Sukhobuzimsky District in the Krasnoyarsk forest-steppe. The object of research was ordinary chernozem, medium-humus, medium-thick, heavy loamy on red-brown clay. During the growing season, soil samples were taken three times from layers 0–10, 10–20 cm by randomization. The following variants of experience were studied: 1) dump (st); 2) minimal (disking); 3) flat-cut cultivation. In 2017, the land was cultivated according to the type of early fallow, and in 2018, spring wheat of the Novosibirskaya-31 variety was sown at the experimental station, and in 2019, barley of the Acha variety was sown. The level of protease activity of the soil of the studied variants was assessed as high. The value of proteolytic activity was maximum on the soil cultivated with a mouldboard plow. Surface tillage with disc implements determined a significant decrease in protease activity in the 0–10 cm layer by the end of the life cycle of spring wheat. On the other hand, loosening with a flat cutter contributed to a significant increase in protease activity in the 0–10 cm layer. The use of flat-cut cultivation was accompanied by an increase in urease activity, mainly in the subseed layer. The use of disk tools significantly weakened the level of urea hydrolysis and shifted its maximum by a layer of 10–20 cm.

Keywords: basic tillage technologies, soil enzymatic activity, urease, protease, nitrogen-containing compounds

For citation: Belousov A.A., Belousova E.N. Enzyme activity of the nitrogen cycle of agrichernozem in conditions of transition to minimum processing technologies // Bulliten KrasSAU. 2022;(12): 3–9. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-3-9.

Введение. Ферментативная активность почв отражает общую биогенность, указывает на специфику превращения азота и характер пищевого режима в почвах. Для почв черноземного ряда энзимом, обуславливающим интенсивность всей последовательности превращения азоторганических соединений, в том числе до формирования минеральных форм, является протеаза [1–3]. Активность ферментов обуславливает процессы разложения поступающих в почву растительных остатков, сосредоточение микроорганизмов и обеспечение растений доступными источниками азота, а также отвечает за азотно-белковый обмен и протекторную функцию в клетках [4]. Различные варианты обработки почвы существенно изменяют условия функционирования почвенных ферментов. Выбор оптимального способа должен соотноситься не только с выяснением благоприятных физико-химических свойств почвенной системы, но и с определением своеобразного сбалансированного интервала активности почвенной биоты, в т.ч. и активности ферментов [5, 6].

Цель исследований – оценить влияние минимальных технологий на активность протеолиза и уреазы агрочернозема и их роль в превращении азотосодержащих органических и минеральных соединений азота.

Объекты и методы. Наблюдения осуществлялись на стационарном участке ООО «ОПХ «Дары Малиновки» Сухобузимского района в Красноярской лесостепи. Объект исследований – чернозем обыкновенный среднегумусный среднеспособный тяжелосуглинистый на красно-бурой глине. В структуре производственного поля были выделены участки прямоугольной формы общей площадью 1200 м² и учетной – 600 м². В каждом из них размещались три делянки – повторности площадью 200 м². Объем выборочной совокупности $n = 12$. В течение вегетационного сезона три раза отбирались почвенные образцы из слоев 0–10, 10–20 см методом рандомизации. Изучались следующие варианты опыта: 1) отвальная вспашка (st); 2) минимальная обработка (дискование); 3) плоскорезная культивация.

Отвальную вспашку проводили плугом Gregoire Besson SPLM B9 на глубину 25–27 см, поверхностное дискование (минимальную обработку) – дискатором БДМ-Агро БДМ 6х4П и плоскорезную культивацию – культиватором «Ярославич» КБМ-10,8 ПС-4 на глубину 10–12 см. В 2017 г. участок (почвенный массив) обрабатывался по типу раннего пара, а в 2018 г. на опытном стационаре высевалась яровая пшеница сорта Новосибирская-31, в 2019 г. – ячмень сорта Ача. Агрометеорологические условия 2017–2019 гг. складывались по-разному (табл. 1).

Метеорологические показатели в годы наблюдений

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Сумма показателей
Средняя температура воздуха, °С						Температура > 10 °С
2017	11,0	20,3	19,5	16,8	8,5	2074
2018	8,1	20,5	18,6	18,3	10,1	2061
2019	9,0	18,7	19,5	18,8	9,9	2047
Норма (1980–2010 гг.)	8,7	15,2	17,6	14,8	8,8	1833
Осадки, мм						Осадки, мм
2017	28,0	30,0	79,0	81,0	81,0	299,0
2018	29,0	29,0	33,0	21,0	58,0	170,0
2019	8,3	106,1	45,4	68,9	54,0	274,4
Норма (1980–2010 гг.)	50,0	61,0	95,0	78,0	48,0	332,0

Таким образом, нарастание суммы активных температур было значительно выше нормы, а количество осадков, напротив, существенно уступало средним многолетним значениям. Это указывало на аридность условий, складывающихся в годы наблюдений. Начало и середина вегетационного сезона 2018 г. по агрометеорологическим условиям складывались неблагоприятно. По количеству выпавших осадков анализируемый период существенно уступал норме, тогда как температура воздуха превышала средние многолетние значения. В июне 2019 г. осадков выпало на 65 % больше нормы.

Химические и физико-химические показатели получены по методикам, изложенным в [7]. Уреазная активность – колориметрическим методом с реактивом Несслера в мг N-NH₄ на 1 кг почвы

за сутки, протеазная активность – методом Гоффманна и Тейхера (1957), в мг аминного азота на 1 г почвы за 20 ч. Результаты статистического анализа данных проводили используя пакет программ MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Оценку полученных данных по протеолитической активности исследуемой почвы проводили по шкале сравнительной характеристики биохимической активности [8]. Очевидно, высокий уровень гумусированности агрочерноземов Красноярской лесостепи обуславливает значительную активность биохимических процессов, связанных с метаболизмом азота. Характер внутрисезонной изменчивости протеолитической активности в течение 2017 г. на изучаемых фонах обработки почвы был идентичным (табл. 2).

Таблица 2

Активность почвенной протеазы пахотного слоя обыкновенного, мг аминного азота / 10 г почвы за 20 ч (2017 г.)

Вариант	Июль		Сентябрь	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1. Отвальная вспашка (st)	21,4	23,6	17,6	21,1
2. Минимальная обработка (дискование)	19,2	16,8	13,5	17,6
3. Плоскорезная обработка (культивация)	18,6	18,3	16,6	18,5
НСР ₀₅	Fф < Fт	4,1	2,7	Fф < Fт

Амплитуда колебаний показателя в слое 0–10 см почвы, обрабатываемой отвальным плугом, была существенно выше, чем на минимальных фонах. Понижение активности протеазы найдено в конце вегетационного сезона и обусловлено дефицитом легкоминерализуемых азотосодержащих органических соединений.

Вероятно, глубокая обработка агрочерноземов в парующем поле формировала более мощный пахотный слой, обеспечивала лучшую аэрацию толщи в результате дробления почвенных отдельных частей.

Существенно меньшая активность протеолиза наблюдается в условиях применения диско-

вых орудий обработки почвы. В сентябре, когда снижались температура и уровень влажности почвы (табл. 3), возростала плотность сложе-

ния. Слой почвы 0–10 см отличался наименьшей биохимической активностью.

Таблица 3

Активность почвенной протеазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг аминного азота / 10 г почвы за 20 ч (2018 г.)

Вариант	Июнь (фон)		Июль		Сентябрь	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1. Отвальная вспашка (st)	18,4	18,6	19,4	21,0	17,4	19,5
2. Минимальная обработка (дискование)	19,0	19,2	19,1	19,8	16,1	15,9
3. Плоскорезная обработка (культивация)	20,5	19,9	19,1	20,8	19,2	17,8
НСР ₀₅	Fф < Fт	Fф < Fт	Fф < Fт	Fф < Fт	2,0	Fф < Fт

Под посевами яровой пшеницы, следовавшей после парового поля, протеазная активность характеризовалась равноценными значениями во всех вариантах. Поверхностная обработка почвы дисковыми орудиями определила достоверное снижение активности протеазы в слое 0–10 см к концу жизненного цикла яровой пшеницы (табл. 3). Рыхление плоскорезом на

глубину 10–12 см способствовало существенному повышению ферментативной активности в слое 0–10 см. В течение последующего вегетационного сезона (табл. 4) в целом активность гидролитических процессов в почве снижалась при использовании безотвальных способов обработки.

Таблица 4

Активность почвенной протеазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг аминного азота / 10 г почвы за 20 ч (2019 г.)

Вариант	Июнь (фон)		Июль		Сентябрь	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1. Отвальная вспашка (st)	18,8	19,3	19,4	23,0	20,0	20,2
2. Минимальная обработка (дискование)	20,9	18,0	18,8	16,9	15,6	15,9
3. Плоскорезная обработка (культивация)	18,3	16,1	17,3	16,2	19,5	19,4
НСР ₀₅	1,6	Fф < Fт	Fф < Fт	1,8	1,4	0,9

Величина протеолитической активности была максимальна на почве, обрабатываемой отвальным плугом. Оптимальные условия для осуществления гидролитических и окислительно-восстановительных протеолитических процессов складывались на фоне вспашки и плоскорезного рыхления.

Применение дискатора под посевами ячменя сопровождалось постепенным падением активности протеазы с летнего по осенний период. По мнению В.И. Кирюшина [9], снижение ферментативной активности по мере минимизации обработки почвы обусловлено сокращением поступления ферментных белков из растительных остатков и микробных клеток. Замедление

данных процессов при ограничении глубины и числа обработок почвы, вероятно, связано и с уменьшением механического заражения почвы микробными клетками, которое происходит при перемешивании ее плугом, а также с обеднением свежим органическим веществом нижней части пахотного слоя. Деятельность корневой системы злаковых культур не оказывала существенного ризосферного эффекта на активность гидролиза пептидных связей белковых веществ. Сохранение стабильной протеазной активности свидетельствует о создании условий для обеспечения почвенной биоты доступными источниками азота [10].

Дальнейший этап трансформации органических соединений азота вызван влиянием уреазы, которая способствует гидролитическому распаду связи между углеродом и азотом в молекулах. Аммоний, сформированный в результате данной реакции, пополнит резервный фонд питания растений и почвенных микроорганиз-

мов. На рассматриваемых фонах обработки агрочерноземов уровень уреазной активности соответствовал очень высокой напряженности биохимических процессов согласно шкале [10] с последующим ее снижением в сентябре до очень бедной (табл. 5).

Таблица 5

Динамика активности уреазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг мочевины / 10 г почвы за 24 ч (2017 г.)

Вариант	Июль		Сентябрь	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1. Отвальная вспашка (st)	119	150	1,5	0
2. Минимальная обработка (дискование)	92	84	0,5	2
3. Плоскорезная обработка (культивация)	76	3	0,5	17
НСР ₀₅	17	26	0,6	5

В условиях отвальной обработки обнаружена максимальная активность уреазы. Это указывает на высокую обогащенность почвы варианта мочевиной. Вероятно, к концу вегетационного сезона запас этого легкодоступного субстрата исчерпывался. Сокращение механического перемешивания почвы приводило к изменениям в метаболизме азотсодержащих органических

соединений, замедляя их трансформацию в почвенной толще.

В период исследований 2018 г. наибольшее замедление процесса разложения мочевины выявили в почве, обрабатываемой отвальным плугом на протяжении всей вегетации яровой пшеницы (табл. 6).

Таблица 6

Динамика активности уреазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг мочевины / 10 г почвы за 24 ч (2018 г.)

Вариант	Июнь (фон)		Июль		Сентябрь	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1. Отвальная вспашка (st)	5	3	1	2	0	1
2. Минимальная обработка (дискование)	8	11	14	5	4	19
3. Плоскорезная обработка (культивация)	6	10	4	2	6	27
НСР ₀₅	F _ф < F _т	4	3	2	2	8

Замена отвальной вспашки дисковыми орудиями обнаружила заметное увеличение уреазной активности в слое 0–10 см в фазе цветения яровой пшеницы. Исследования [11] свидетельствуют об участии корнепада однолетних растений и азота этой их части, доступности его микроорганизмам еще при жизни пшеницы, что объясняет максимум активности фермента в слое 10–20 см. Здесь концентрировалась существенная часть корневой системы, определяющая генезис в почве легкодоступных микроорганизмам соединений, источником которых яв-

ляются корневые экссудаты. Применение плоскорезной культивации сопровождалось увеличением активности уреазы преимущественно на глубине 10–20 см. Одним из факторов, обуславливающих такое изменение, по мнению [12], является сосредоточение в слое 10–20 см почвы корневых систем растений, обогащающих его биологически активными веществами и стимулирующими развитие микрофлоры. Под посевами ячменя уреазная активность была существенно выше при внедрении плоскорезной обработки (табл. 7).

**Динамика активности уреазы пахотного слоя
чернозема обыкновенного, мг мочевины / 10 г почвы за 24 ч (2019 г.)**

Вариант	Июнь (фон)		Июль		Сентябрь	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1. Отвальная вспашка (st)	23	9	8	8	18	13
2. Минимальная обработка (дискование)	8	16	9	22	13	13
3. Плоскорезная обработка (культивация)	33	14	39	50	25	31
НСР ₀₅	9	Fф < Fт	8	7	5	5

В свою очередь, применение дисковых орудий значительно ослабляло уровень гидролиза мочевины и смещало ее максимум на глубину 10–20 см. Таким образом, плоскорезный способ рыхления обусловил повышение уровня активности уреазы относительно отвальной вспашки и поверхностного дискования. Полученные закономерности согласуются с результатами [13]. Данные исследования свидетельствуют, что исключение отвального плуга влечет за собой депрессию накопления нитратного азота в почве, что связано с замедлением процессов, стимулирующих минерализацию азота.

Заключение

1. Уровень протеазной активности почвы исследуемых вариантов оценивался как высокий.
2. Величина протеолитической активности была максимальной на почве, обрабатываемой отвальным плугом.
3. Плоскорезный способ рыхления обусловил существенное повышение уровня активности уреазы относительно отвальной вспашки и поверхностного дискования.

Список источников

1. Хазиев Ф.Х. Активность ферментов азотного обмена и динамика азота в черноземах // Азотный фонд и биохимические свойства почв Башкирии: сб. ст. Уфа: АН СССР, 1977. С. 41–69.
2. Оценка ферментативной активности почв Зауралья Республики Башкортостан при различных системах обработки почв / Г.Р. Ильбулова [и др.] // Экологический вестник Северного Кавказа. 2021. Т. 17, № 2. С. 10–15.
3. Марковская Г.К. Влияние минимализации обработки почвы на ферментативную ак-
4. тивность чернозема обыкновенного в лесостепи Среднего Поволжья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (67). С. 195–197.
5. Самедова А.Д. Динамика активности протеазной системы растений при длительном воздействии свинца в условиях засоления // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2015. № 11. С. 154–157.
6. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Оценка протеазной активности чернозема выщелоченного при минимализации обработки // Проблемы современной аграрной науки: материалы междунар. заоч. науч. конф. Красноярск, 2015. С. 3–5.
7. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Влияние почвозащитных технологий на содержание подвижного органического вещества и ферментативную активность почвы // Агрехимия. 2022. № 5. С. 30–37.
8. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
9. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: науч.-метод. пособие. Н. Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2012. 63 с.
10. Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // Земледелие. 2013. № 3. С. 3–6.
11. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
12. Стаканов Н.З. Корневая система полевых культур. М.: Наука, 1964. 280 с.
13. Зинченко С.И., Бучкина Н.П. Влияние приемов основной обработки серой лесной

- почвы на эмиссию азота // Владимирский земледелец. 2018. № 4 (86). С. 7–11.
13. Данилова А.А. Сочетание естественных и антропогенных факторов в формировании свойств выщелоченного чернозема при почвозащитной обработке // Агрохимия. 2013. № 8. С. 45–53.
- ### References
1. *Haziev F.H.* Aktivnost' fermentov azotnogo obmena i dinamika azota v chernozemah // Azotnyj fond i biohimicheskie svojstva pochv Bashkirii: sb. st. Ufa: AN SSSR, 1977. S. 41–69.
 2. Ocenka fermentativnoj aktivnosti pochv Zaural'ya Respubliki Bashkortostan pri razlichnyh sistemah obrabotki pochv / G.R. Ilbulova [I dr.] // `Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza. 2021. T. 17, № 2. S. 10–15.
 3. *Markovskaya G.K.* Vliyaniye minimalizacii obrabotki pochvy na fermentativnuyu aktivnost' chernozema obyknovennogo v lesostepi Srednego Povolzh'ya // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 5 (67). S. 195–197.
 4. *Samedova A.D.* Dinamika aktivnosti proteaznoj sistemy rastenij pri dlitel'nom vozdejstvii svinca v usloviyah zasoleniya // Novye i netradicionnye rasteniya i perspektivy ih ispol'zovaniya. 2015. № 11. S. 154–157.
 5. *Belousova E.N., Belousov A.A.* Ocenka proteaznoj aktivnosti chernozema vyschelochennogo pri minimalizacii obrabotki // Problemy sovremennoj agrarnoj nauki: mat-ly mezhdunar. zaoch. nauch. konf. Krasnoyarsk, 2015. S. 3–5.
 6. *Belousova E.N., Belousov A.A.* Vliyaniye pochvozaschitnyh tehnologij na sodержanie podvizhnogo organicheskogo veschestva i fermentativnuyu aktivnost' pochvy // Agrohimiya. 2022. № 5. S. 30–37.
 7. *Vorob'eva L.A.* Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. M.: GEOS, 2006. 400 s.
 8. *Titova V.I., Kozlov A.V.* Metody ocenki funkcionirovaniya mikrobocenoza pochvy, uchastvuyushchego v transformacii organicheskogo veschestva: nauch.-metod. posobie. N. Novgorod: Nizhegorod. gos. s.-h. akad., 2012. 63 s.
 9. *Kiryushin V.I.* Problema minimizacii obrabotki pochvy: perspektivy razvitiya i zadachi issledovanij // Zemledelie. 2013. № 3. С. 3–6.
 10. *Zvyaginцев D.G.* Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya ocenki nekotoryh ee pokazatelej // Pochvovedenie. 1978. № 6. S. 48–54.
 11. *Stakanov N.Z.* Kornevaya sistema polevyh kul'tur. M.: Nauka, 1964. 280 s.
 12. *Zinchenko S.I., Buchkina N.P.* Vliyaniye priemov osnovnoj obrabotki seroj lesnoj pochvy na `emissiyu azota // Vladimirskij zemleделец. 2018. № 4 (86). S. 7–11.
 13. *Danilova A.A.* Sochetaniye estestvennyh i antropogennyh faktorov v formirovaniye svojstv vyschelochennogo chernozema pri pochvozaschitnoj obrabotke // Agrohimiya. 2013. № 8. S. 45–53.

Статья принята к публикации 22.09.2022 / The article accepted for publication 22.09.2022.

Информация об авторах:

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

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

Information about the authors:

Alexander Anatolievich Belousov¹, Associate Professor, Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

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

