

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В АГРОЧЕРНОЗЕМЕ И АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ АЗОТНОГО ЦИКЛА

© 2023 г. Е. Н. Белоусова¹, А. А. Белоусов^{1,*}

¹Красноярский государственный аграрный университет
660049 Красноярск, просп. Мира, 90, Россия

*E-mail: svoboda57130@mail.ru

Поступила в редакцию 19.09.2022 г.

После доработки 20.10.2022 г.

Принята к публикации 15.11.2022 г.

Оценили влияние отвальной и минимальных технологий обработки агрочерноземов на активность ферментов азотного цикла, и их роль в превращении азотсодержащих органических соединений. Наиболее значимые различия в сезонной динамике содержания фракции трудногидролизуемых соединений азота обнаружены в почве агроценоза ячменя при всех видах обработки почвы. При использовании поверхностного дискования динамика их содержания была обусловлена активностью протеазы. Выявлена высокая обеспеченность почвы легкогидролизуемым азотом, что указывало на отсутствие потребности в азотных удобрениях. Зависимость динамики содержания легкогидролизуемых соединений азота от активности протеазы была неоднозначной. В условиях применения минимальной обработки почвы формирование легкогидролизуемых соединений азота находилось в обратной зависимости от процесса протеолиза. Плоскорезный способ рыхления обусловил повышение уровня активности уреазы относительно отвальной вспашки и поверхностного дискования.

Ключевые слова: способы обработки почвы, азотсодержащие органические соединения, ферментативная активность почвы, протеаза, уреазы.

DOI: 10.31857/S0002188123020047, **EDN:** MRZGIQ

ВВЕДЕНИЕ

Процессы превращения азота в почвах Сибирского региона заторможены суровыми биоклиматическими условиями, при которых значительная часть азотсодержащих соединений превращается в “мертвый” азотный фонд, исключается из биологического круговорота и питания растений [1–3]. Применение почвозащитной системы земледелия предусматривает сокращение интенсивности и глубины воздействия обрабатывающих орудий на почву, что способствует локализации органических остатков, ухудшению аэрации нижних горизонтов и послойной дифференциации биологических процессов. Перестройка почвенной биоты приводит к изменению режима азотистых соединений и снижению азотомобилизующей способности почв [4–9]. В связи с этим актуальным является вопрос о роли ферментативной активности почвы в процессах трансформации азотсодержащих органических соединений в условиях бесплужной обработки. Напри-

мер, активность протеолиза обуславливает процессы разложения поступающих в почву растительных остатков и обеспечение растений доступными источниками азота [10].

Цель работы — исследование динамики содержания азотсодержащих органических соединений и активности ферментов азотного цикла при использовании отвальной и поверхностных способов обработки черноземов Красноярской лесостепи.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в производственном опыте ООО ОПХ “Дары Малиновки” Сухобузимского р-на в Красноярской лесостепи, размещенном в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°10'с.ш. и 91°47'в.д.). В границах производственных посевов были заложены реперные участки прямоугольной формы общей площадью

Таблица 1. Метеорологические показатели в годы опыта

Год	Месяц					Сумма активных температур, °С
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Средняя температура воздуха, °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 (1961—1990 гг.)	8.7	15.2	17.6	14.8	8.8	1833
Осадки, мм						
						Сумма осадков, 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 (1961—1990 гг.)	50.0	61.0	95.0	78.0	48.0	332.0

1200 м² с учетной площадью 600 м². В пределах каждого участка выделяли 3 повторности, площадью 200 м². Выбор элементов методики полевого опыта обусловлен влиянием внутрипольной неоднородности почвенного плодородия опытного стационара [11]. Почвенные пробы отбирали в сроки, приуроченные к фазам развития сельскохозяйственных культур, из слоев 0–10 и 10–20 см методом змейки. Объем выборки был рассчитан, исходя из уровня варьирования плодородия почвы по результатам рекогносцировочных посевов и составил $n = 12$. Наблюдения проводили в звене севооборота: пар – яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – ячмень (*Hordeum vulgare* L.). Для исследования были выбраны следующие варианты: 1 – отвальная (st) вспашка на глубину 25–27 см плугом Gregoire Besson SPLM B9. В вегетационном сезоне 2017 г. почву обрабатывали в 1-ю декаду июня по типу раннего пара, с последующими культивациями на глубину 5–7 см по мере отрастания сорных растений. Далее, в 2018 г. применяли вспашку на глубину 25–27 см с предпосевной культивацией на 5–7 см агрегатом АПК-7.2 + БЗТС-1;

2 – минимальная (поверхностное дискование) обработка дискатором БДМ-Агро БДМ 6 × 4П на глубину 10–12 см. В 2017 г. почву обрабатывали по типу стернового пара, в 2018 г. – боронованием с предпосевной культивацией на 5–7 см агрегатом АПК-7.2 + БЗТС-1;

3 – плоскорезная (культивация) обработка культиватором Ярославич КБМ-10.8 ПС-4 на глубину 10–12 см; в 2017 г. почву обрабатывали по типу стернового пара, на следующий год – боронованием с предпосевной культивацией на 5–7 см агрегатом АПК-7.2+БЗТС-1. В 2018 г. на опытном поле возделывали яровую пшеницу сорта Ново-

сибирская-31, в вегетационный сезон 2019 г. – ячмень сорта Ача.

Химические и физико-химические показатели почвы определяли по методикам, изложенным в [12]. В подготовленных образцах определяли органический углерод по Тюрину ($C_{орг}$), подвижный фосфор и обменный калий – по Чирикову, содержание трудно- ($N_{тп}$) и легкогидролизуемого ($N_{лп}$) азота – по Корнфилду [13]. Ферментативную активность почвы определяли следующими методами: уреазную активность – колориметрическим методом учета аммония с реактивом Несслера, выраженного в мг N-NH₄/кг почвы/сут, протеазную активность – методом Гоффманна и Тейхера [14] в мг аминного азота/г почвы/20 ч.

Объект исследования – чернозем обыкновенный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый на красно-бурой глине. Почва опыта в пахотном слое содержала 6.5% органического углерода, подвижного фосфора – 295–320 и обменного калия (по Чирикову) – 127–138 мг/кг, рН_{H₂O} был близок к нейтральному (рН_{H₂O} 6.7).

Оценку полученных данных протеолитической активности исследованной почвы проводили по шкале сравнительной характеристики биохимической активности [15]. Статистический анализ данных проводили методом однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа с использованием пакета программ MS Excel.

Агрометеорологические условия вегетационных сезонов 2017–2019 гг. показаны в табл. 1. Сумма активных температур была значительно выше среднемноголетних показателей, а количество осадков, напротив, существенно уступало норме. Вторая половина лета первого года исследования (2017 г.) характеризовалась значитель-

ным количеством осадков относительно 2018 и 2019 гг. наблюдений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Главным источником почвенного азота является органическое вещество, в состав которого азот входит в виде более и менее устойчивых соединений. Гидролизуемые соединения азота состоят из легко- и трудногидролизуемых фракций. Роль различных форм азотистых веществ в формировании азотного режима почвы и питания растений неодинакова. Фракция трудногидролизуемого азота является резервом для пополнения фонда подвижных азотных соединений. Выявлено преобладание трудногидролизуемых форм над легкогидролизуемыми, что объясняется высокой устойчивостью почв Сибири к гидролизу [16]. В условиях парования содержание азота трудногидролизуемой фракции ($N_{\text{т}}$) указывало на незначительную его динамику и отсутствие существенных различий в вегетационный период 2017 г. Динамика распределения $N_{\text{т}}$ по слоям почвы была слабой за счет равномерного распределения органических соединений, отсутствия поступления свежих порций растительного материала и потребления азота культурами (рис. 1).

При использовании отвальной вспашки под посевами яровой пшеницы обнаружено существенное уменьшение содержания фракции азотистых соединений, переходящих в 6 н. NaOH, к июлю и достоверное увеличение этого показателя в конце вегетационного сезона 2018 г. Подобные тенденции к изменению динамики содержания трудногидролизуемых соединений азота наблюдали и в слое почвы 10–20 см.

Сокращение интенсивности и глубины воздействия обрабатывающих орудий на почву определяет постепенное снижение интенсивности накопления $N_{\text{т}}$. Очевидно, разрыхление поверхностного слоя, преимущественное поступление в этот слой пожнивных остатков и уплотнение нижней части обрабатываемого слоя является причиной замедления процессов мобилизации питательных веществ. Малая подвижность азота связана с длительным сохранением неразложившихся растительных остатков, с преимущественным содержанием гуминов и гуминовых кислот в составе гумуса и повышенной степенью конденсированности их ароматического ядра [1]. Наиболее значимые различия в сезонном ритме изменений содержания фракции трудногидролизуемых соединений азота были найдены в почве агроценоза ячменя. Амплитуда сезонных изменений содержания трудногидролизуемых соединений азо-

та в почве вариантов опыта указывала на схожий характер их превращений. Заметное накопление данной фракции азота наблюдали в фазе цветения ячменя. В дальнейшем отмечено несущественное уменьшение содержания трудногидролизуемых соединений азота. По-видимому, двухлетнее наложение обработок без оборота пласта обусловило изменения в содержании подвижных гумусовых соединений: значительное снижение концентрации углерода гуминовых кислот и увеличение доли фульвосоединений (фульватизация) в почве всех вариантов опыта. В фазе цветения ячменя разложение растительного материала в почве, где использовали дисковые орудия и отвальный плуг, сопровождалось формированием примерно равных показателей содержания гуминоподобных соединений. Тогда как в условиях плоскорезной технологии отмечен достоверно низкий уровень содержания подвижных гуминовых кислот в сравнении с вариантами контроля и дискования. В конце вегетационного сезона в слоях 0–10 и 10–20 см выявлена тенденция к увеличению содержания молодых гуминовых кислот при плоскорезной обработке относительно почвы, обработанной дискатором. Очевидно, темп гумификации растительных остатков в верхней части почвенного профиля в условиях применения безотвальных технологий замедлялся. Благодаря постоянному обновлению системы гумусовых веществ, происходил обмен азотсодержащими периферическими группировками или, как показали опыты [17], одновременный переход азотистых структур из подвижных фракций в малоподвижные и наоборот.

Обобщая обсуждение процессов трансформации трудногидролизуемых соединений азота, отметим, что динамика их содержания определялась активностью фермента протеазы только при использовании поверхностного дискования. Это свидетельствовало о наличии других причинно-следственных связей при трансформации данных соединений в данных почвенно-метеорологических условиях.

Одной из основных форм подвижного почвенного азота является фракция легкогидролизуемого азота. Согласно агрономической оценке, легкогидролизуемый азот составляет ближайший резерв для питания растений. Динамика его содержания обусловлена неодинаковой интенсивностью минерализации азотсодержащего органического вещества. В течение летнего периода 2017 г. в почве исследованных вариантов наблюдали тенденцию к уменьшению содержания щелочногидролизуемого азота. В нижней части обрабатываемого слоя (10–20 см) зафиксировано накопле-

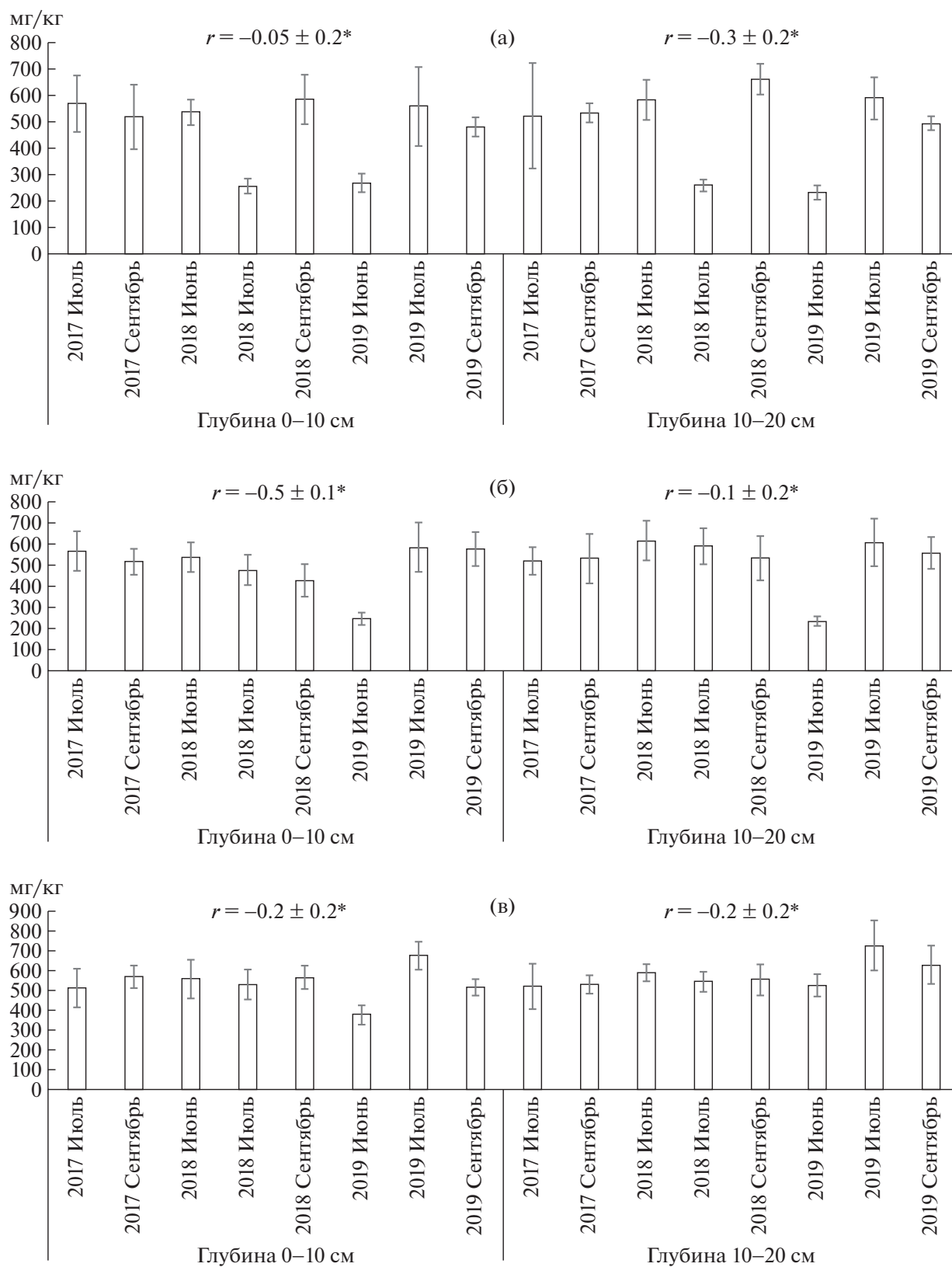


Рис. 1. Динамика содержания трудногидролизующих соединений азота (мг/кг): (а) — отвальная обработка, (б) — минимальная обработка, (в) — плоскорезная обработка. *Корреляционная зависимость между содержанием $N_{\text{тг}}$ и протеазной активностью почвы.

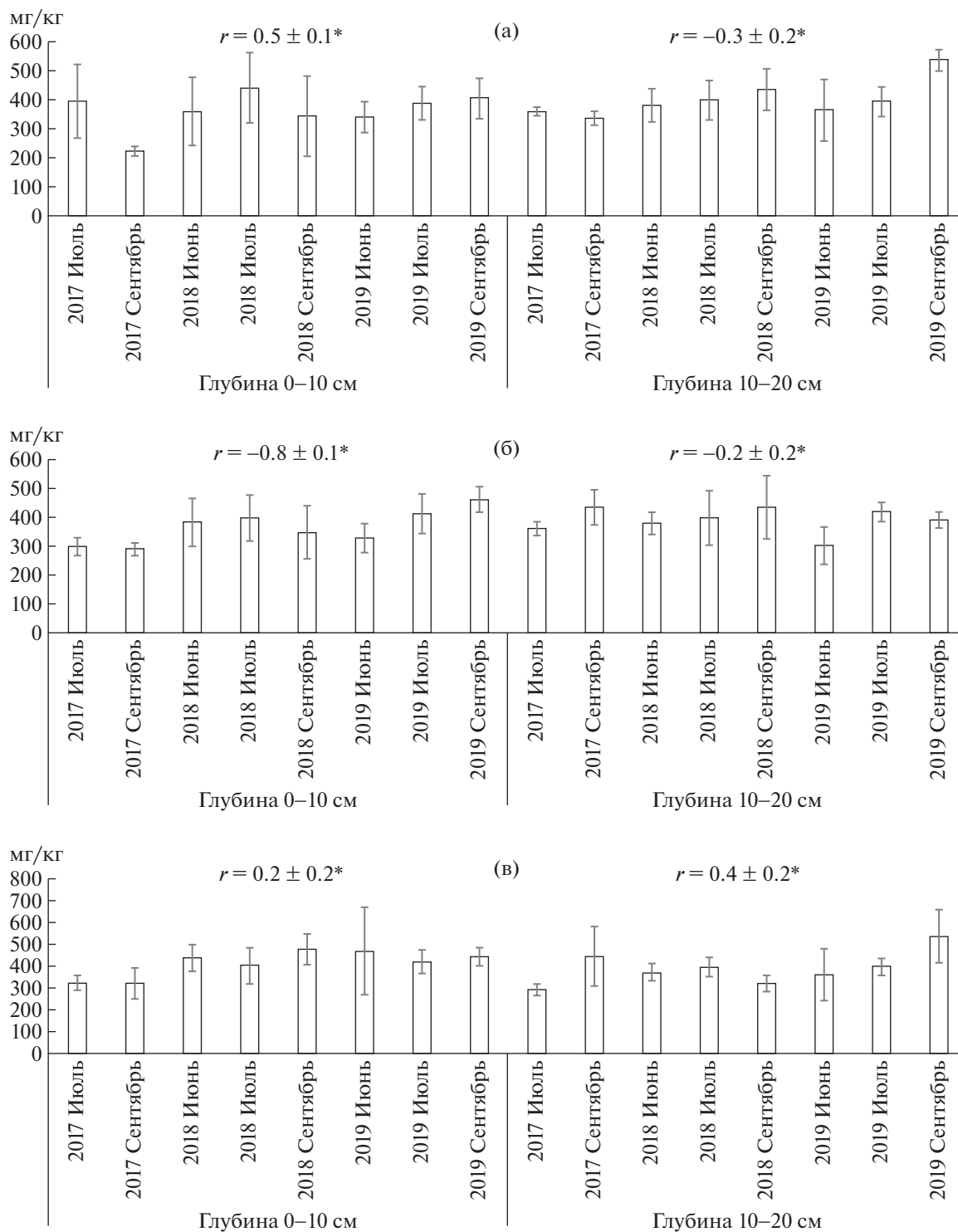


Рис. 2. Динамика содержания легкогидролизуемых соединений азота (мг/кг): (а) – отвальная обработка, (б) – минимальная обработка, (в) – плоскорезная обработка. *Корреляционная зависимость между содержанием $N_{\text{лг}}$ и протеазной активностью почвы.

ние фракции легкогидролизуемых азотистых соединений (рис. 2).

В осенний период достоверный минимум накопления этой фракции отмечен в почве с обра-

боткой отвальным плугом. Это было связано с отсутствием поступления свежего растительного вещества в почву, а также с особенностями перераспределения растительного материала в пахот-

Таблица 2. Активность почвенной протеазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг аминного азота/10 г почвы/20 ч (2017 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)	—	—	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
HCP_{05}			$F_{\phi} < F_T$	4.1	2.7	$F_{\phi} < F_T$

ном слое при разных видах механической обработки. Использование культиваторов-плоскорезов сопровождалось разнонаправленностью превращения органических соединений азота и приводило в осенний период к компенсации их потерь и заметной аккумуляции в слое почвы 10–20 см.

В течение вегетационного сезона 2018 г. максимальное содержание фракции легкогидролизуемых соединений азота обнаружено в надсеменной части почвы, обработанной отвальными и дисковыми орудиями, в фазе цветения яровой пшеницы. При плоскорезной обработке максимум накопления легкогидролизуемой фракции азота наблюдали в сентябре в слое 0–10 см и его содержание достоверно уменьшалось в слое почвы 10–20 см.

Иной характер трансформации легкогидролизуемых соединений азота отмечен в агрочерноземе под посевами ячменя. Послеуборочное пополнение мортмассы пожнивно-корневыми остатками зерновой культуры, отмершими корнями сопровождалось значительными изменениями содержания соединений, переходящих в 1.0 н. NaOH. Максимум их образования приходился на слой 10–20 см в период уборки ячменя при обработке почвы отвальным плугом и плоскорезными орудиями. Применение дискаторов обнаружило заметный азотминерализующий потенциал надсеменного слоя почвы.

Характер обработки агрочерноземов определяет особенности в распределении растительных остатков в обрабатываемом слое и специфику процессов превращения органического вещества. Непродолжительное (в течение 2–3 лет) применение обработок почвы без оборота пласта выявило наличие разнокачественности слоев по величине аккумуляции органических форм азота. Показатели корреляционной зависимости легкогидролизуемых соединений азота с активностью протеазы были неоднозначными (рис. 2). Полученные данные в контрольном варианте свиде-

тельствовали о средней зависимости накопления $N_{\text{лг}}$ от уровня активности протеолитических ферментов в слое 0–10 см, для более глубокого слоя связь менялась на обратную. В условиях применения минимальной обработки почвы формирование легкогидролизуемых соединений азота находилось в обратной корреляционной зависимости от активности протеолиза.

Ферментативная активность почв отражает общую биогенность, указывает на специфику превращения азота и характер пищевого режима в почве. Установлено, что для черноземов ферментом, определяющим скорость всей цепи превращения азоторганических соединений, вплоть до образования минеральных форм, является протеаза [18].

Показано, что характер динамики протеолитической активности в течение вегетационного сезона 2017 г. на разных фонах обработки почвы был идентичным (табл. 2). Амплитуда изменений этого показателя в слое 0–10 см почвы, обработанной отвальным плугом, была существенно больше, чем при применении минимальных способов обработки. Снижение активности протеазы показано в конце вегетационного сезона и было 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 отдельностей.

Существенно меньшая активность протеолиза отмечена в условиях применения дисковых орудий обработки почвы. В сентябре, когда снижалась температура и обеспеченность влагой (табл. 1), возрастала плотность сложения почвы, слой 0–10 см отличался наименьшей ферментативной активностью.

Под посевами яровой пшеницы, следовавшей после парового поля, протеазная активность ха-

Таблица 3. Активность почвенной протеазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг аминного азота/10 г почвы/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
HCP_{05}	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	2.0	$F_{\phi} < F_T$

Таблица 4. Активность почвенной протеазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг аминного азота/10 г почвы/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
HCP_{05}	1.6	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	1.8	1.4	0.9

рактировалась равноценными показателями во всех вариантах опыта (табл. 3).

Поверхностная обработка почвы дисковыми орудиями определила достоверное снижение активности протеазы в слое 0–10 см к концу жизненного цикла яровой пшеницы. Плоскорезное рыхление на глубину 10–12 см способствовало существенному повышению ферментативной активности в слое 0–10 см.

В течение следующего вегетационного сезона в целом, активность гидролитических процессов в почве снижалась при использовании безотвальных способов обработки (табл. 4). Наибольшей величиной протеолиза характеризовалась почва при ежегодной отвальной вспашке. Оптимальные условия для осуществления гидролитических и окислительно-восстановительных протеолитических процессов складывались на фоне вспашки и плоскорезного рыхления.

Поверхностное дискование на глубину 10–12 см под посевами ячменя сопровождалось постепенным уменьшением активности протеазы в течение летнего периода. По мнению [19], снижение ферментативной активности по мере минимизации обработки почвы обусловлено сокращением поступления ферментных белков из растительных остатков и микробных клеток. Торможение

этих процессов при сокращении глубины и частоты обработки почвы 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. По-видимому, особенности перераспределения растительного материала в корнеобитаемом слое в условиях применения безотвальных обработок агрочерноземов обусловили преимущественно микробиологический характер продуцирования почвенной протеазы. Деятельность корневой системы злаковых культур не оказывала существенного ризосферного эффекта на активность протеолиза в почве исследованных вариантов опыта. Сохранение стабильной протеазной активности свидетельствует о создании условий для обеспечения почвенной биоты доступными источниками азота [10].

Следующая стадия превращения азоторганических соединений связана с действием фермента уреазы. Аммоний, образовавшийся в результате уреазной реакции, служит источником питания растений и почвенных микроорганизмов. Содержание почвы под паром, где складывались благоприятные условия для превращения растительных остатков, обуславливало накопление значительного количества азота. На рассмотренных

Таблица 5. Динамика активности уреазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг мочевины/10 г почвы/24 ч (2017 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)	—	—	119	150	1.5	0
2. Минимальная обработка (дискование)	—	—	92	84	0.5	2
3. Плоскорезная обработка (культивация)	—	—	76	3	0.5	17
HCP_{05}			17	26	0.6	5

Таблица 6. Динамика активности уреазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг мочевины/10 г почвы/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
HCP_{05}	$F_{\phi} < F_T$	4	3	2	2	8

Таблица 7. Динамика активности уреазы пахотного слоя чернозема обыкновенного, мг мочевины/10 г почвы/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
HCP_{05}	9	$F_{\phi} < F_T$	8	7	5	5

фонах обработки агрочерноземов уровень уреазной активности соответствовал очень высокой напряженности биохимических процессов согласно шкале [20] с последующим ее снижением в сентябре до очень бедной (табл. 5).

При применении отвальной обработки обнаружена максимальная активность уреазы. Это указывало 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 соеди-

нений, замедляя их трансформацию в почвенной толще.

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

Замена отвальной вспашки дисковыми орудиями обеспечила заметное увеличение уреазной активности в слое 0–10 см в фазе цветения яровой пшеницы. Применение плоскорезной культивации сопровождалось увеличением активности уреазы преимущественно на глубине 10–20 см. Одним из факторов, обуславливающих такое изменение, по мнению [21], было сосредоточение в

слое 10–20 см почвы корневых систем растений, обогащающих его биологически активными веществами и стимулирующими развитие микрофлоры. Под посевами ячменя, следовавшими после яровой пшеницы, уреазная активность была существенно больше при применении плоскорезной обработки (табл. 7). В свою очередь, применение дисковых орудий значимо ослабляло процесс гидролиза мочевины и смещало его максимум на глубину 10–20 см. Таким образом, плоскорезный способ рыхления обусловил повышение уровня активности уреазы относительно отвальной вспашки и поверхностного дискования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значимые различия в сезонной динамике содержания фракции трудногидролизуемых соединений азота были выявлены в почве агроценоза ячменя при всех способах обработки агрочернозема. Их динамика определяла активность протеазы при использовании поверхностного дискования. Зависимость содержания легкогидролизуемых соединений азота от активности протеазы была неоднозначной. При применении минимальной обработки формирование легкогидролизуемых соединений азота находилось в сильной обратной корреляционной зависимости от активности протеолиза. Плоскорезная обработка обусловила повышение уровня активности уреазы относительно отвальной вспашки и поверхностного дискования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаков П.С., Чупрова В.В. Содержание и качественный состав гумуса в основных почвах Красноярской лесостепи // Почвоведение. 1970. № 12. С. 46–55.
2. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 267 с.
3. Коротких Н.А., Власенко Н.Г., Кастючик С.П. Динамика содержания нитратного азота в почве под посевами пшеницы, возделываемой по технологии no-till в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2016. № 7. С. 12–18.
4. Данилова А.А. Ферментативная активность как показатель динамики мобильных органических веществ в выщелоченном черноземе Приобья при минимизации его основной обработки // Сибир. вестн. сел.-хоз. науки. 2007. № 1(169). С. 14–21.
5. Синещев В.Е., Ткаченко Г.И. Влияние минимизации основной обработки почвы на азотный режим чернозема выщелоченного и продуктивность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте // Агрохимия. 2016. № 1. С. 59–64.
6. Данилова А.А. Сочетание естественных и антропогенных факторов в формировании свойств выщелоченного чернозема при почвозащитной обработке // Агрохимия. 2013. № 8. С. 45–53.
7. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск, 2013. 790 с.
8. Завалин А.А., Дриггер В.К., Белобров В.П., Юдин С.А. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1506–1516.
9. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Трансформация азотсодержащих соединений чернозема выщелоченного в условиях минимизации основной обработки // Пробл. агрохим. и экол. 2021. № 3–4. С. 3–8.
10. Вершинин А.А., Калимуллин Л.К., Петров А.М. Протеазная активность загрязненной нефтью светло-серой лесной почвы в условиях длительного эксперимента // Химия и инженерная экология – XVIII: сб. тр. Международ. научн. конф. Казань, 2018. С. 397–399.
11. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Влияние внутрипольной неоднородности почвенного плодородия на выбор элементов методики полевого опыта // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 6. С. 55–62.
12. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
13. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 655 с.
14. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 251 с.
15. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Нижний Новгород, 2012. 64 с.
16. Пигарева Н.Н., Корсунов В.М. Агрохимия почв криолитозоны Забайкалья. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2004. 204 с.
17. Помазкина Л.В., Зорина С.Ю. Иммобилизация азота удобрений и трансформация его в составе гумусовых веществ почв лесостепи Средней Сибири // Проблема азота в интенсивном земледелии: тез. докл. Всесоюз. совещ. Новосибирск, 1990. С. 143.
18. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. Т. 1. № 2. С. 80–92.
19. Кирюшин В.И., Данилова А.А. Биологическая активность выщелоченного чернозема Приобья в связи с интенсификацией возделывания зерновых культур // Агрохимия. 1990. № 9. С. 79–86.
20. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2012. 260 с.
21. Зинченко С.И., Бучкина Н.П. Влияние приемов основной обработки серой лесной почвы на эмиссию азота // Владимир. земледелец. 2018. № 4 (86). С. 7–11.

**Influence of Basic Tillage Technologies
on the Transformation of Nitrogen-Containing Organic Compounds
in Agrochernozen and the Activity of Nitrogen Cycle Enzymes**

E. N. Belousova^a and A. A. Belousov^{a, #}

^a*Krasnoyarsk State Agrarian University
prosp. Mira 90, Krasnoyarsk 660049, Russia*

[#]*E-mail: svoboda57130@mail.ru*

The influence of dump and minimal agrochernozen processing technologies on the activity of nitrogen cycle enzymes and their role in the transformation of nitrogen-containing organic compounds was evaluated. The most significant differences in the seasonal dynamics of the fraction content of difficult-to-hydrolyze nitrogen compounds were found in the soil of the barley agrocenosis in all types of tillage. When using surface disking, the dynamics of their content was determined by the activity of protease. The high availability of the soil with easily hydrolyzable nitrogen was revealed, which indicated that there was no need for nitrogen fertilizers. The dependence of the dynamics of the content of easily hydrolyzable nitrogen compounds on the activity of protease was ambiguous. Under conditions of minimal tillage, the formation of easily hydrolyzable nitrogen compounds was inversely dependent on the proteolysis process. The plane-cutting method of loosening caused an increase in the level of urease activity relative to dump plowing and surface disking.

Key words: methods of tillage, nitrogen-containing organic compounds, enzymatic activity of the soil, protease, urease.