



Научная статья/Research Article

УДК 631.416.1

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-3-11

**Елена Николаевна Белоусова<sup>1✉</sup>, Александр Анатольевич Белоусов<sup>2</sup>, Екатерина Николаевна Лукова<sup>3</sup>**<sup>1,2,3</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия<sup>1</sup>svobodalist571301858@mail.ru<sup>2</sup>svoboda57130@mail.ru<sup>3</sup>borowats@gmail.com

### ОСОБЕННОСТИ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПОЧВЕННОГО АЗОТА ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ЧЕРНОЗЕМОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

*Цель исследований – выявить влияние минимизации обработки почвы на характер превращения фракционного состава легкогидролизующих соединений азота. Исследования проведены на производственном опыте ООО «ОПХ «Дары Малиновки» Сухобузимского района в Красноярской лесостепи. Объект исследований – чернозем обыкновенный среднегумусный среднесиловый тяжелосуглинистый на красно-бурой глине. Трижды за вегетационный сезон отбирались почвенные образцы из слоев 0–10, 10–20 см методом змейки. Схема опыта представлена следующими вариантами: 1. Отвальная вспашка (st). 2. Минимальная обработка (дискование). 3. Плоскорезная обработка (культивация). В сезоне 2017 г. почва вариантов опыта обрабатывалась по типу чистого раннего пара, а в 2018 г. на полевом стационаре был произведен посев яровой пшеницы сорта Новосибирская-31, в 2019 – ячменя сорта Ача. Наблюдения за динамикой легкогидролизующих соединений азота при разных способах обработки выявили наличие значимых различий. В условиях отвальной вспашки выявлено отсутствие достоверных различий между оцениваемыми слоями почвы. Смена плуга на дисковые и плоскорезные орудия обусловила дифференциацию пахотного слоя по содержанию N<sub>лг</sub>. Использование разных способов основной обработки почвы обуславливало неравномерную мобилизацию азотсодержащих соединений и обеспечивало примерно близкие величины азотминерализующей способности. Выявлено отсутствие зависимости нитратонакопления от способов обработки почвы в первые месяцы перехода на безотвальное рыхление. На фоне вегетации яровой пшеницы значимые отличия наблюдались в надсеменных слоях, а в период роста и развития ячменя изменения обнаруживались во всем пахотном слое. В период вегетации зерновых культур в подсеменном слое (10–20 см) сосредоточивались статистически более значимые концентрации аммонийных соединений азота в сравнении с надсеменным слоем.*

**Ключевые слова:** легкогидролизующий азот, минеральные формы азота, почвозащитные технологии обработки почвы, легкоминерализуемое органическое вещество

**Для цитирования:** Белоусова Е.Н., Белоусов А.А., Лукова Е.Н. Особенности превращения почвенного азота при минимизации обработки черноземов Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2022. № 6. С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-3-11.

Elena Nikolaevna Belousova<sup>1✉</sup>, Alexander Anatolievich Belousov<sup>2</sup>, Ekaterina Nikolaevna Lukova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>svobodalist571301858@mail.ru

<sup>2</sup>svoboda57130@mail.ru

<sup>3</sup>borowats@gmail.com

## SOIL NITROGEN CONVERSION FEATURES WHILE MINIMIZING CHERNOZEM PROCESSING IN THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

*The purpose of research is to reveal the effect of minimizing tillage on the nature of the transformation of the fractional composition of easily hydrolysable nitrogen compounds. The studies were carried out on the basis of the production experience of ООО ОФ Дарь Малиновки, Sukhobuzimsky District in the Krasnoyarsk forest-steppe. The object of research is ordinary chernozem, medium-humus, medium-thick, heavy loamy on red-brown clay. Three times during the growing season, soil samples were taken from layers 0–10, 10–20 cm using the snake method. The experiment scheme is represented by the following options: 1. Moldboard plowing (st). 2. Minimal processing (disking). 3. Flat cutting processing (cultivation). In the 2017 season, the soil of the experimental variants was cultivated according to the type of pure early fallow, and in 2018, spring wheat of the Novosibirskaya-31 variety was sown at the field station, and barley of the Acha variety was sown in 2019. Observations of the dynamics of easily hydrolysable nitrogen compounds with different processing methods revealed significant differences. Under the conditions of moldboard plowing, the absence of significant differences between the assessed soil layers was revealed. The change of the plow to disk and flat-cutting tools led to the differentiation of the arable layer according to the content of Nlg. The use of different methods of basic tillage caused uneven mobilization of nitrogen-containing compounds and provided approximately similar values of nitrogen-mineralizing capacity. The absence of dependence of nitrate accumulation on the methods of tillage in the first months of the transition to non-moldboard loosening was revealed. Against the background of the vegetation of spring wheat, significant differences were observed in the above-seed layers, and during the period of growth and development of barley, changes were found in the entire arable layer. During the growing season of grain crops, statistically more significant concentrations of ammonium nitrogen compounds were concentrated in the under-seed layer (10–20 cm) compared to the above-seed layer.*

**Keywords:** readily hydrolysable nitrogen, mineral forms of nitrogen, soil protection technologies for tillage, readily mineralizable organic matter

**For citation:** Belousova E.N., Belousov A.A., Lukova E.N. Soil nitrogen conversion features while minimizing chernozem processing in the Krasnoyarsk forest-steppe // Bulliten KrasSAU. 2022;(6): 3–11. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-3-11.

**Введение.** Одним из важнейших факторов, влияющих на продуктивность возделываемых культур, является обработка почвы, в результате которой изменяются физико-химические свойства черноземов, воздушный, водный и питательный режимы [1–3]. Замена традиционной вспашки безотвальной обработкой и уменьшение ее глубины приводят к снижению биологической активности почвы, в особенности интенсивности минерализации органического вещества. В условиях земледельческой части Красноярского края из-за короткого теплого периода регулирование биологических процессов в почве и преодоление пестицидной нагрузки приобретают особое значение. Процессы превращения азота в черноземах заторможены суровыми биоклиматическими

условиями, при которых значительная часть азотсодержащих соединений превращается в «мертвый» азотный фонд, исключается из биологического круговорота и питания растений [4]. Освоение почвозащитной системы земледелия на основе минимизации обработки почвы порождает ряд негативных явлений, среди которых особый интерес представляет ухудшение обеспеченности растений азотом.

**Цель исследований** – выявить влияние минимальных технологий обработки почвы на характер превращения фракционного состава легкогидролизуемых соединений азота и особенно накопления минеральных форм азота.

**Объекты и методы.** Исследования проведены на производственном опыте ООО «ОПХ

«Дары Малиновки» Сухобузимского района в Красноярской лесостепи. Объект исследования – чернозем обыкновенный среднегумусный среднемогучный тяжелосуглинистый на краснобурой глине. В границах производственных посевов заложены реперные участки прямоугольной формы общей площадью 1200 м<sup>2</sup> с учетной площадью 600 м<sup>2</sup>. В пределах каждого участка выделялись три делянки – повторности, площадью 200 м<sup>2</sup>. Объем выборки  $n = 12$ . Трижды за вегетационный сезон отбирались почвенные образцы из слоев 0–10, 10–20 см методом змейки. Схема опыта представлена следующими вариантами: 1. Отвальная (st). 2. Минимальная (дискование). 3. Плоскорезная (культивация).

Отвальную вспашку проводили плугом Gregoire Besson SPLM B9 на глубину 25–27 см,

минимальную обработку (поверхностное дискование) – дискатором БДМ-Агро БДМ 6х4П и плоскорезную обработку (культивацию) культиватором Ярославич КБМ-10,8 ПС-4 на глубину 10–12 см. В вегетационный сезон 2017 г. почва вариантов опыта обрабатывалась по типу чистого раннего пара, а в 2018 г. на полевом стационаре был произведен посев яровой пшеницы сорта Новосибирская-31, в 2019 г. – посев ячменя сорта Ача.

Агрометеорологические условия 2017–2019 гг. складывались по-разному (табл. 1). Так, накопление суммы активных температур было значительно выше среднееголетних значений, а количество осадков, напротив, существенно уступало норме. Это свидетельствовало о засушливости условий, формирующихся в годы наблюдений.

Таблица 1

Метеорологические показатели в годы наблюдений

Год	Месяц					Сумма показателей
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Средняя температура воздуха, °С						Сумма активных температур, °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)	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 (1980–2010)	50,0	61,0	95,0	78,0	48,0	332,0

Вторая половина лета первого года исследований (2017) характеризовалась большим количеством осадков относительно 2018 г. 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 общепринятым прописям современных методов [5]. Содержание нитратного азота (N-NO<sub>3</sub>) определяли по Грандваль-Ляжу в модификации И.Н. Шаркова, аммонийного азота

(N-NH<sub>4</sub>) – колориметрически с реактивом Несслера, гидролизуемые формы азота (N<sub>лг</sub>) – по Корнфилду [6]. Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ MS Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Наблюдения за динамикой легкогидролизуемых соединений азота в период парования и отсутствия растений при разных способах обработки выявили наличие значимых различий (табл. 2–4). В условиях отвальной вспашки, вероятно, создавался гомогенный пахотный слой, поэтому характер и темп превращения легкогидролизуемых соединений азота обуславливали отсутствие достоверных различий между оцениваемыми слоями почвы.

Таблица 2

Статистические параметры содержания легкогидролизуемых соединений азота  
в пахотном слое чернозема обыкновенного ( $n = 12$ ,  $t_{теор} = 2,57$ ), 2017 г.

Глубина, см	Стат. парам.	Вариант								
		Отвальная вспашка			Минимальная обработка (дискование)			Плоскорезная обработка (культивация)		
		июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
0–10	$X \pm S_x$		394	222		299	289		323	321
	V, %		31,1	7,4		10,1	7,7		9,8	21,3
10–20	$X \pm S_x$		359	336		361	433		292	443
	V, %		4	7		6,3	13,4		8,8	29,4
	t $\phi$		0,66	<b>-17,1*</b>		<b>-4,1</b>	<b>-6,0</b>		<b>2,64</b>	<b>-2,87</b>

\* Здесь и далее: жирным шрифтом выделены достоверные различия.

При смене плуга на дисковые и плоскорезные орудия обнаружена неравнозначная интенсивность минерализации легкоминерализуемого органического вещества, что определило дифференциацию пахотного слоя по содержанию  $N_{лг}$ . Достоверное его увеличение наблюдалось в подсеменном слое почвы, обрабатываемой по

минимальной технологии. Использование культиваторов-плоскорезов сопровождалось разнонаправленностью превращения органических соединений азота, что приводило в осенний период к компенсации их потерь и заметной аккумуляции в слое почвы 10–20 см.

Таблица 3

Статистические параметры содержания легкогидролизуемых соединений азота  
в пахотном слое чернозема обыкновенного ( $n = 12$ ,  $t_{теор} = 2,57$ ), 2018 г.

Глубина, см	Стат. парам.	Вариант								
		Отвальная вспашка			Минимальная обработка (дискование)			Плоскорезная обработка (культивация)		
		июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
0–10	$X \pm S_x$	359	439	343	383	397	347	436	401	476
	V, %	31,7	26,4	38,4	14,1	18,9	25,3	10,3	19,8	14,2
10–20	$X \pm S_x$	364	398	366	378	397	435	371	395	319
	V, %	15	16,5	18,5	9,7	22,7	23,8	23	11,1	21,7
	t $\phi$	-0,0	0,9	-0,35	0,1	0,0	-1,27	1,2	0,1	<b>4,31</b>

В течение вегетационного сезона 2018 г. под посевами яровой пшеницы существенных различий в дифференциации обрабатываемой толщи по концентрации  $N_{лг}$  не выявлено. В фазу восковой спелости культуры зафиксирован существенный пик содержания  $N_{лг}$  в слое 0–10 см по сравнению со слоем 10–20 см на плоскорезном фоне обработки (табл. 3), что указывает на бо-

лее высокий уровень азотминерализующей способности почвы вследствие наиболее благоприятных условий тепло- и влагонакопления. Так, применение плоскорезной культивации способствовало статистически достоверному превышению запасов продуктивной влаги в сравнении с двумя сравниваемыми вариантами [7].

Статистические параметры содержания легкогидролизуемых соединений азота в пахотном слое чернозема обыкновенного ( $n = 12$ ,  $t_{теор} = 2,57$ ), 2019 г.

Глубина, см	Стат. парам.	Вариант								
		Отвальная вспашка			Минимальная обработка (дискование)			Плоскорезная обработка (культивация)		
		июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
0–20	$X \pm Sx$	339	386	403	326	413	460	466	420	443
	V, %	14,7	12,1	13,8	16,5	18,9	10,3	54	23,3	3,6
20–40	$X \pm Sx$	363	391	534	302	417	390	359	396	536
	V, %	27,6	10,3	5,4	20,6	8,5	8,1	31,7	4,1	9,2
	tф	-0,5	-0,3	<b>-8,0</b>	0,57	-0,28	<b>3,0</b>	1,82	0,77	<b>-4,8</b>

В почве, занятой ячменем, следовавшим за яровой пшеницей, достоверные максимумы зарегистрированы к концу вегетационного сезона (табл. 4) в нижней части пахотного слоя на фоне вспашки и применения плоскорезных орудий, а на площадках, обрабатываемых дискатором, – в надсеменном слое агрочерноземов.

Таким образом, использование разных способов основной обработки почвы обуславливало неравномерное распределение растительного материала предшествующей культуры в обрабатываемом слое и мобилизацию питательных веществ, однако обеспечивало примерно близкие величины азотминерализующей способности.

Накопление в почве минерального азота определяется запасом в ней легкоминерализуемых (лабильных) органических соединений, а также гидротермическими и другими условиями, определяющими биохимическую напряженность.

Экспериментальные данные (рис. 1–3) свидетельствуют об отсутствии зависимости нитратонакопления от способов обработки почвы в первые месяцы перехода на безотвальное рыхление. На фоне вегетации яровой пшеницы значимые отличия наблюдались в надсеменных слоях, а в период роста и развития ячменя изменения обнаруживались в пределах всего пахотного слоя.

За период парования и последующий вегетационный сезон уровень содержания нитратного азота был существенно выше в верхней части пахотного слоя почвы, обрабатываемой культиваторами-плоскорезами. Поверхностная обработка создавала более благоприятные условия для разложения фитомассы полевых культур, что предопределило нивелирование различий в концентрации нитратного азота в 0–20 см слое почвы.

На безотвальных фонах обеспечивались благоприятные значения пористости и плотности сложения, обуславливая высокую биохимическую активность верхней части обрабатываемого слоя по сравнению с пахотным. Различия в азотминерализующей способности агрочернозема для надсеменной и подсеменной частей свидетельствовало о неодинаковых резервах легкоминерализуемых азотсодержащих соединений в этих слоях почвы.

Несколько иной характер влияния приемов основной обработки почвы на минерализацию органического вещества наблюдали в течение вегетационного сезона 2019 г. Данные рисунков 1–3 иллюстрируют исчерпание легкодоступных для микроорганизмов органических соединений и снижение накопления в почве минерального азота.

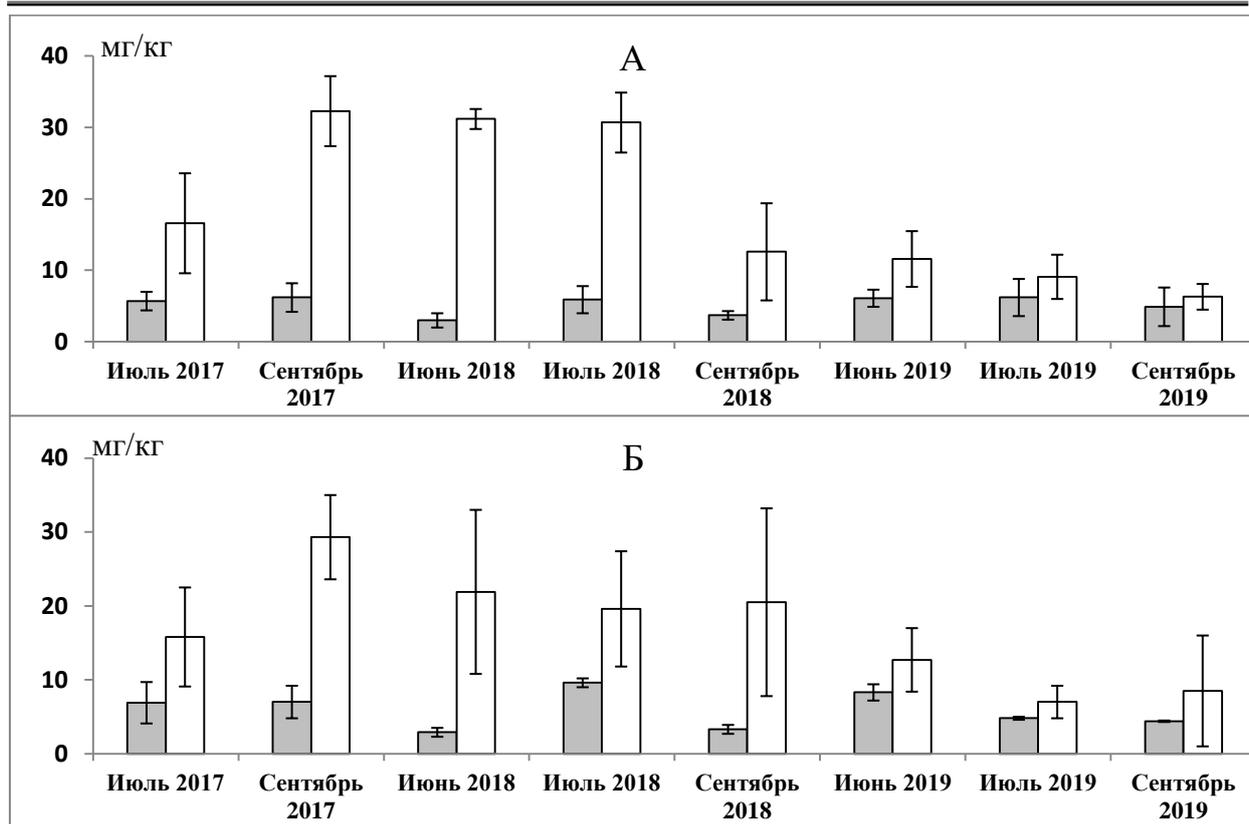


Рис. 1. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в условиях отвальной обработки почвы: А – 0–10; Б – 10–20 см

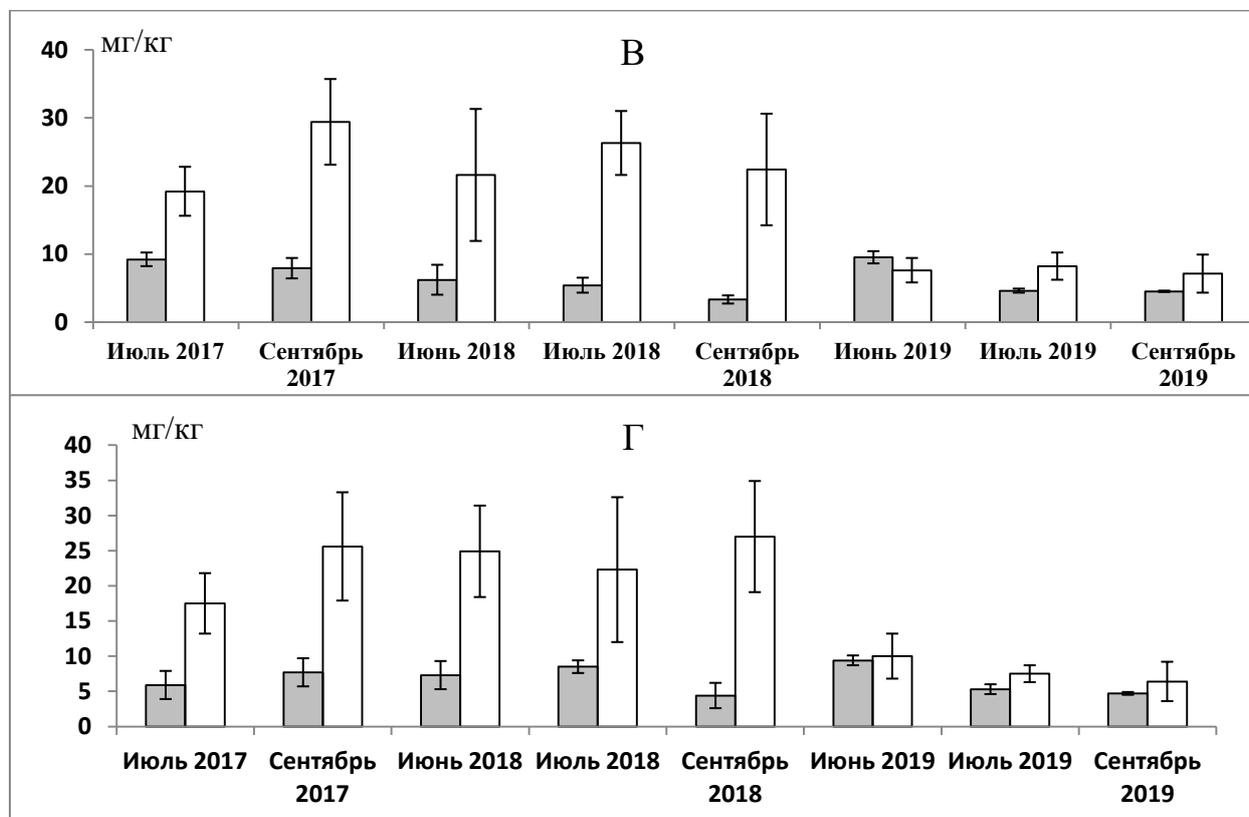


Рис. 2. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в условиях минимальной обработки почвы: В – 0–10; Г – 10–20 см

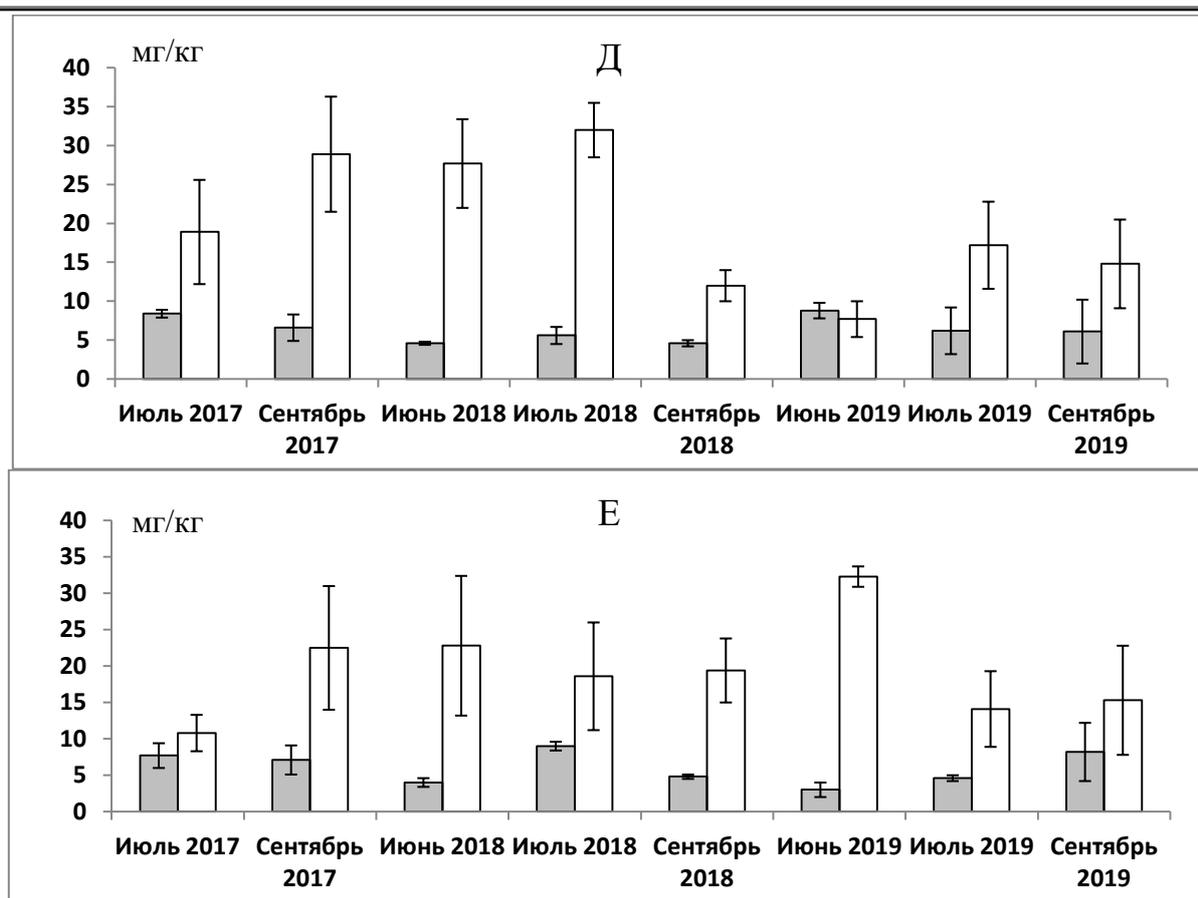


Рис. 3. Динамика содержания аммонийного и нитратного азота в условиях плоскорезной обработки почвы: Д – 0–10; Е – 10–20 см

Вероятно, даже незначительная утрата старопашотными почвами лабильной фракции органического вещества приводит к резкому снижению скорости процесса минерализации в почве – на 20–50 % [8]. Кроме того, в поверхностном слое почвы солоmistые остатки злаковых культур продолжительное время сохраняли широкое соотношение C:N, вследствие чего снижалась интенсивность их разложения [9].

Примечательным фактом наших исследований было весьма значимое преобладание содержания нитратного азота над аммонийным (см. рис. 1–3). Анализ данных выявил тенденцию к накоплению аммонийных соединений азота на фоне безотвальных технологий обработки агрочернозема. Низкие его концентрации в почве вариантов опыта могли быть обусловлены легкоглинистым гранулометрическим составом, определяющим повышенную необменную фиксацию ионов аммония минеральными и органическими коллоидами. Возможно, в связи с избыточной рыхлостью образующиеся аммонийные соединения азота быстро вовлекались в процесс биохимического окисления. Выявлено, что

в период вегетации зерновых культур в подсеменном слое (10–20 см) сосредоточивались статистически более значимые концентрации аммонийных соединений азота в сравнении с надсеменным слоем.

### Заключение

1. Изучаемые технологии основной обработки агрочерноземов обеспечивали относительно равнозначный уровень азотминерализующей способности.

2. Различия в азотминерализующей способности агрочернозема для надсеменной и подсеменной частей свидетельствовали о неодинаковых резервах легкоминерализуемых азотсодержащих соединений в этих слоях почвы. Нитратонакопление под посевами яровой пшеницы значимо отличалось в надсеменных слоях, определяясь способом обработки почвы и фазой развития культуры. При возделывании ячменя изменения обнаруживались в пределах всего пахотного слоя.

3. На фоне безотвальных технологий обработки агрочернозема выявлена тенденция к накоплению аммонийных соединений азота. В период вегетации зерновых культур в подсеменном слое (10–20 см) сосредоточивались статистически более значимые концентрации аммонийных соединений азота в сравнении с надсеменным слоем.

4. Сравнимые технологии обработки почвы в целом не выявили существенных различий по накоплению минеральных форм азота. При размещении зерновых культур по паровому предшественнику зафиксирован высокий уровень обеспеченности нитратным азотом, а под посевами ячменя после яровой пшеницы наблюдался дефицит этого элемента питания.

#### Список источников

1. Белоусова Е.Н. Влияние почвозащитных технологий на плотность и твердость чернозема выщелоченного // Вестник КрасГАУ. 2015. № 11 (110). С. 3–9.
2. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Трансформация азотсодержащих соединений чернозема выщелоченного в условиях минимизации обработки // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5 (128). С. 149–156.
3. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) / А.А. Завалин [и др.] // Почвоведение. 2018. № 12. С. 1506–1516.
4. Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. Красноярск, 1981. 126 с.
5. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
6. Агротхимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 655 с.
7. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Оценка запасов влаги в черноземе в условиях минимизации обработки почвы // Агрофизика. 2021. № 4. С. 1–6.
8. Шарков И.Н., Букреева С.Л., Данилова А.А. Роль легкоминерализуемого органического вещества в стабилизации запасов углерода в пахотных почвах // Сиб. экол. журнал. 1997. Т. 4, № 4. С. 363–368.
9. Белоусов А.А. Минерализация органического вещества при внесении соломы в почву // Органическое вещество почв и урожай: сб. науч. работ молодых ученых / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2000. 101 с.
1. Belousova E.N. Vliyaniye pochvozaschitnykh tehnologiy na plotnost' i tverdst' chernozema vyschelochennogo // Vestnik KrasGAU. 2015. № 11 (110). S. 3–9.
2. Belousova E.N., Belousov A.A. Transformatsiya azotsoderzhaschih soedinenij chernozema vyschelochennogo v usloviyah minimizatsii obrabotki // Vestnik KrasGAU. 2017. № 5 (128). S. 149–156.
3. Azot v chernozemah pri traditsionnoj tehnologii obrabotki i pryamom poseve (obzor) / A.A. Zavalin [i dr.] // Pochvovedenie. 2018. № 12. S. 1506–1516.
4. Bugakov P.S., Gorbacheva S.M., Chuprova V.V. Pochvy Krasnoyarskogo kraya. Krasnoyarsk, 1981. 126 s.
5. Vorob'eva L.A. Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. M.: GEOS, 2006. 400 s.
6. Agrohimiicheskie metody issledovaniya pochv. M.: Nauka, 1975. 655 s.
7. Belousova E.N., Belousov A.A. Ocenka zapasov vlagi v chernozeme v usloviyah minimizatsii obrabotki pochvy // Agrofizika. 2021. № 4. S. 1–6.
8. Sharkov I.N., Bukreeva S.L., Danilova A.A. Rol' legkomineralizuemogo organicheskogo veschestva v stabilizatsii zapasov ugleroda v pahotnykh pochvah // Sib. `ekol. zhurnal. 1997. T. 4, № 4. S. 363–368.
9. Belousov A.A. Mineralizatsiya organicheskogo veschestva pri vnesenii solomy v pochvu // Organicheskoe veschestvo pochv i urozhaj: sb. nauch. rabot molodyh uchenykh / Krasnoyarsk. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2000. 101 s.

#### References

Информация об авторах:

**Елена Николаевна Белоусова**<sup>1</sup>, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

**Александр Анатольевич Белоусов**<sup>2</sup>, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

**Екатерина Николаевна Лукова**<sup>3</sup>, магистрант кафедры почвоведения и агрохимии

Information about the authors:

**Elena Nikolaevna Belousova**<sup>1</sup>, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

**Alexander Anatolievich Belousov**<sup>2</sup>, Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

**Ekaterina Nikolaevna Lukova**<sup>3</sup>, Master student at the Department of Soil Science and Agrochemistry

