

Научная статья/Research Article

УДК 631.416.1:631.81

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-88-104

Александр Анатольевич Белоусов<sup>1✉</sup>, Елена Николаевна Белоусова<sup>2</sup>,  
Виктория Валерьевна Гавриленко<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>1,2</sup>svoboda57130@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛИЗАЦИИ-ИММОБИЛИЗАЦИИ АЗОТА В ПОСЕВАХ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Цель исследования – оценить направленность процессов трансформации азотсодержащих соединений агрочерноземов в условиях использования комплексных минеральных удобрений. Исследование процессов минерализации-иммобилизации проводили на опытном поле УНПК «Борский» в типичных условиях Красноярской лесостепи. Объект исследования – пятнистость агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных среднетощих и агрочерноземов криогенно-мицеллярных среднетощих на желто-бурой карбонатной глине. В полевом опыте изучали влияние следующих минеральных удобрений: аммофос, сульфаммофос, нитроаммофоску и фосфоритную муку совместно с сульфатом аммония. Изучали их влияние на динамику превращения нитратных и аммонийных соединений азота в агрочерноземах, а также уровень его иммобилизации. Содержание азота в микробной биомассе указывало на преобладание процессов иммобилизации в почве. Статистически значимое влияние на концентрацию минеральных соединений оказывают культура предшественник и гидротермические условия. На посевах сои и озимой ржи повышение температуры отрицательно воздействовало на процессы нитратнокопления, в агроценозе кукурузы наблюдался обратный эффект. Растительные остатки сои статистически достоверно влияли на увеличение содержания аммонийного азота. Существенное изменение в направленности процессов минерализации-иммобилизации азота определила технология возделывания кукурузы. Отношение C : N в почве являлось фактором, формирующим уровень содержания азота в минеральной и поглощенной микроорганизмами форме только в отдельные фазы онтогенеза исследуемых сельскохозяйственных культур. Это влияние было разнонаправленным. Выявлены отрицательные корреляционные зависимости между содержанием азота микробной биомассы и продуктивностью озимой ржи и кукурузы ( $r = -0,7$ ), что указывало на имеющуюся конкуренцию между фитоценозами и живой фазой почвы за минеральный азот.

**Ключевые слова:** виды и дозы минеральных удобрений, динамика содержания аммонийного, нитратного и азота микробной биомассы, процессы минерализации-иммобилизации, отношение C : N в почве

**Для цитирования:** Белоусов А.А., Белоусова Е.Н., Гавриленко В.В. Влияние минеральных удобрений на процессы минерализации-иммобилизации азота в посевах полевых культур в Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2026. № 5. С. 88–104. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-88-104.

Alexander Anatolyevich Belousov<sup>1✉</sup>, Elena Nikolaevna Belousova<sup>2</sup>,  
Victoria Valeryevna Gavrilenko<sup>3</sup>

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

<sup>1,2</sup>svoboda57130@mail.ru

## EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS ON NITROGEN MINERALIZATION AND IMMOBILIZATION PROCESSES IN FIELD CROPS IN THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

The purpose of the work is to evaluate the orientation of the transformation processes of nitrogen-containing compounds of agrochernozems under the conditions of using complex mineral fertilizers. The study of mineralization and immobilization processes was carried out at the experimental field of the UNPC Borsky, in typical conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. Object of research: spotting of agrochernozems of clay-illuvial typical medium-depth and agrochernozems of cryogenic-micellar medium-depth on yellow-brown carbonate clay. In the field experiment, the effects of the following mineral fertilizers were studied: ammophos, sulfoammophos, nitroammophoska and phosphoric flour together with ammonium sulfate. Their effect on the dynamics of the conversion of nitrate and ammonia nitrogen compounds in agrochernozems, as well as the level of its immobilization, was studied. The nitrogen content in the microbial biomass indicated the predominance of immobilization processes in the soil. The precursor culture and hydrothermal conditions have a statistically significant effect on the concentration of mineral compounds. In soybean and winter rye crops, an increase in temperature negatively affected the processes of nitrate accumulation, while the opposite effect was observed in the corn agroecosystem. Soybean plant residues had a statistically significant effect on the increase in ammonium nitrogen content. A significant change in the direction of nitrogen mineralization and immobilization processes was determined by the technology of corn cultivation. The C : N ratio in the soil was a factor that formed the level of nitrogen content in the mineral and microbial-absorbed form only in certain phases of the ontogenesis of the studied agricultural crops. This influence was multidirectional. Negative correlations were revealed between the nitrogen content of microbial biomass and the productivity of winter rye and cucumbers ( $r = -0.7$ ), which indicated the existing competition between phytocenoses and the living phase of the soil for mineral nitrogen.

**Keywords:** types and doses of mineral fertilizers, dynamics of ammonium, nitrate, and microbial biomass nitrogen content, mineralization-immobilization processes, and C : N ratio in soil

**For citation:** Belousov AA, Belousova EN, Gavrilenko VV. Effect of mineral fertilizers on nitrogen mineralization and immobilization processes in field crops in the Krasnoyarsk forest-steppe. *Bulletin of KSAU*. 2026;(5):88-104 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-88-104.

**Введение.** Одним из ключевых и системообразующих факторов, влияющих на состояние агроландшафтов и устойчивость их функционирования, является пищевой режим почв [1]. В свою очередь, минеральные удобрения в максимальной степени и напрямую воздействуют на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур [2]. В связи с многофункциональной ролью удобрений в агроценозе их значение динамично возрастает с повышением продуктивности земледелия [3]. Принятый в конце XX в. курс на альтернативные системы земледелия, предусматривающие отказ от минеральных удобрений, был неоправданным и часто способствовал существенному снижению урожайности. При таких системах она была на порядок ниже, что увеличивало затраты на производство продукции [4]. Очевидно, на современном этапе минеральные удобрения должны применяться с учетом агрономической и экономической эффективности, а также экологической безопасности. Отсюда требование к сбалансированному питанию растений макроэле-

ментами является необходимым условием для обеспечения обозначенных требований. Несбалансированное питание, низкое содержание доступных для растений соединений макро- и микроэлементов в почве приводят к недобору урожайности, снижению ее качественных показателей, иммунного статуса и повышению заболеваемости растений [5].

Имеющийся научно-исследовательский материал свидетельствует о необходимости многофакторного регулирования условий минерального питания сельскохозяйственных культур для формирования их оптимального количества и качества, соответствующего стандартам [6]. Для оценки отклика сельскохозяйственных культур используют тканевую диагностику и устанавливают необходимый уровень дополнительного внесения удобрений (подкормки). В свете современных тенденций координатного земледелия и возможностей дифференцированного внесения удобрений результаты тканевой диагностики становятся еще более актуальными. Автор считает, что в этом отношении

листовая индикация дает более детальный агрохимический сигнал. Она также информирует о сочетании складывающихся факторов, в первую очередь об уровне обеспеченности элементами питания. По этой причине методические разработки для диагностики растительных проб при их совмещении с почвенными должны комплексно использоваться при оценке плодородия почвы, в т. ч. для поправки к дозам удобрений [7, 8]. Листовая диагностика также расширяет возможности прогноза и открывает пути дифференцированного подхода к улучшению качества урожая с помощью минеральных удобрений. В связи с этим важным элементом удобрения сельскохозяйственных культур является внекорневая подкормка, например жидким комплексным удобрением (ЖКУ).

Таким образом, минеральные удобрения являются одним из основных средств интенсификации агротехнологий в агроландшафтах [9]. В условиях Сибири на определенных этапах онтогенеза их роль особенно актуальна. Одним из ключевых элементов минерального питания на начальных фазах развития, особенно зерновых культур, является азот.

Минеральный азот является элементом, который в агропочвах часто находится в первом минимуме. Проблема обеспеченности агропочв минеральным азотом весьма существенна в условиях резко континентального климата Сибири, а также неблагоприятных термических условий, складывающихся в весенний период. Существенной проблемой в азотном режиме агропочв, особенно в условиях почвозащитных технологий, является высокий уровень иммобилизации. Так, по данным [3], доля этого процесса в круговороте азота может составлять до 20–40 %.

Неблагоприятная ситуация в азотном режиме агропочв во многом обусловлена неграмотным использованием агротехнологий, претендующих на точность, вносящих в глобальный цикл азота существенные изменения, которые, в свою очередь, детерминируют процессы минерализации-иммобилизации [10]. Микробные клетки, ассимилируя значительные количества азота, фосфора и калия, служат внушительным депо элементов минерального питания растений [11].

Механизмы превращения почвенного азота, как правило, коррелируют с оборачиваемостью биофильных элементов через микробную био-

массу. Центральную роль в превращениях углерода и азота выполняет живая фаза почвы; источником энергии является количество и качество органической субстанции и ее доступность почвенной биоте, а эффективность использования субстрата микроорганизмами определяет интенсивность этих процессов. [12]. Научной информации о векторизации влияния связанного микробной биомассой азота на питание сельскохозяйственных культур недостаточно. Исследованиями [13] установлено, что для длительно сезонно-промерзающих почв Сибирского региона, в противоположность аналогам в европейской части континента, в агроценозах регистрируются высокие темпы иммобилизации азота удобрений и меньшая его ассимиляция растениями. Авторы также акцентируют внимание на значительно меньшей иммобилизации элемента питания в случае его совмещения с другими питательными веществами.

С практической точки зрения важно понимать, как внесение минеральных удобрений отразится на направленности трансформации азота в почвах агроландшафтов. Весьма значимо решение сформулированной проблемы на территории земледельческой зоны Красноярского края: во-первых, с точки зрения дефицита научно-практической информации и, во-вторых, по причине жестких микроклиматических параметров, формирующихся в почве в начале вегетационных сезонов объекта наблюдений [14–17]. Несомненно, что существенное воздействие на процессы высвобождения азота, закрепленного микроорганизмами, могут оказывать ферменты азотного цикла, в т. ч. протеаза и уреаза [18]. Это влияние может быть как прямым, так и опосредованным, в т. ч. через изменение содержания органических и минеральных соединений азота, а также отношения C : N.

**Цель исследования** – оценить направленность процессов трансформации азотсодержащих соединений агроценозов в условиях использования комплексных минеральных удобрений.

**Задачи:** оценить содержание и динамику минеральных соединений азота и микробной биомассы в зависимости от видов и доз минеральных удобрений; выявить особенности воздействия минеральных удобрений, а также тепловых и водных ресурсов на процессы превращения соединений азота в агроценозах.

**Объекты и методы.** Программа научных наблюдений и ее реализация осуществлялись на опытной площадке, расположенной в стандартных условиях в центре Красноярской лесостепи (N 56, 430 °, E 92, 915 °). Объект исследования: агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные среднемощные и агрочерноземы криогенно-мицеллярные среднемощные на желто-бурой карбонатной глине. Химические и физико-химические параметры измерялись общепринятыми методами. В воздушно-сухой биомассе растений определяли содержание валовых форм азота, фосфора и калия [19]. В подготовленных почвенных пробах определяли органический углерод (Сорг) по Тюрину, содержание нитратного азота (N-NO<sub>3</sub>) по Грандваль-Ляжу, аммонийного азота (N-NH<sub>4</sub>) колориметрически с реактивом Несслера, азот плазмы микроорганизмов (Nmб) методом регидратации-экстракции [20].

Анализируемые агрочерноземы характеризовались следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 7,6 % (по Тюрину), реакция среды – 6,4, гидролитическая кислотность – 2,1–4,9 ммоль/100 г, содержание подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – 194 и 213 мг/кг соответственно. Степень насыщенности основаниями – 94,4 %.

В полевом опыте изучали влияние следующих минеральных удобрений: фосфоритной муки – P<sub>ф</sub>, сульфата аммония – N<sub>а</sub> аммофоса – АФ, сульфоаммофоса – САФ и нитроаммофоски – НАФК. Дозы минеральных удобрений рассчитывались на основе возврата питательных веществ от их выноса с урожаями с учетом обеспеченности почвы элементами питания. Соответственно, схема опыта была следующей (табл. 1).

Таблица 1

**Схема полевого опыта  
Scheme of field experience**

Вариант	Доза, кг/га					
	д.в.			физический вес		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Контроль	–	–	–	–	–	–
2. P <sub>ф</sub> 1 т/га + N <sub>а</sub> 20+ K <sub>с</sub> 60	21	180	60	100	1000	120
3. P <sub>ф</sub> 1,5 т/га + N <sub>а</sub> 20+K <sub>с</sub> 60	21	270	60	100	1500	120
4. САФ 20 + K <sub>с</sub> 60	20	20	60	100		120
5. САФ 60 + K <sub>с</sub> 60	60	60	60	300		120
6. АФ 20 + K <sub>с</sub> 60	4	20	60	43		120
7. АФ 60 + K <sub>с</sub> 60	12	60	60	130		120
8. НАФК 20 + K <sub>с</sub> 60	20	20	80	125		120
9. НАФК 60 + K <sub>с</sub> 60	60	60	120	375		120

Осенью 2022 г. после уборки предшествующей культуры (ячменя) под отвальную обработку плугом ПЛН 5-35 на глубину 20–22 см фоном на всех опытных вариантах был заделан сульфат калия, а в почву второго и третьего вариантов – фосфоритная мука. Далее в течение трех лет исследований в опыте применялась безотвальная обработка плоскорезом ПЦК-3,8 на глубину 20–22 см. На данных двух вариантах в весенний период перед посевом сельскохозяйственных культур использовали туки сульфата аммония гранулированного. Его использование обусловлено физиологически кислой реакцией, необходимой для повышения растворимости и доступности фосфора из P<sub>ф</sub> [21, 22]. Три вида

других комплексных минеральных удобрений вносились под предпосевную культивацию, а далее при посеве сельскохозяйственных культур.

Посев сои (*Glycine max* (L.) Merr.) сорта Эос проведен 23 мая, озимой ржи (*Secale cereale*) сорта Красноярская универсальная – 1 сентября 2023 г., гибрида кукурузы (*Zea mays*) Росс 140 СВ – 5 июня 2025 г. с помощью посевного комплекса СВУ-8У с шириной междурядий 70 см.

На опытной площадке распределение вариантов последовательное, с числом повторностей – 4. Посевная площадь – 100 м<sup>2</sup>, учетная – 45 м<sup>2</sup>, форма делянок – прямоугольная. Взятие почвы осуществлялось пробоотборником из слоев 0–10 и 10–20 см с фиксацией координат

места отбора. Учет продуктивности и урожайности исследуемых сельскохозяйственных культур проводили согласно [19].

Факторы, характеризующие обеспеченность влагой и тепловыми ресурсами, были измерены и обработаны на ближайшей метеорологической станции и представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Основные агрометеорологические показатели вегетационных сезонов**  
**The main meteorological indicators of the growing seasons**

Год	Месяц					$\sum T > 10^{\circ}\text{C}$
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
	Средняя температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$					
2023	9,0	18,0	20,0	18,0	11,0	2048
2024	11,0	17,0	19,9	16,5	7,9	1937
2025	10,4	19,8	18,7	16,1	12,6	2050
Средние многолетние	9,0	17,5	19,1	16,0	8,9	1613
	Осадки, мм					$\sum$ осадков
2023	33,0	30,2	44,9	42,9	79,9	198
2024	31,0	64,0	55,0	94,0	46,0	245
2025	17,2	102,0	59,6	161,1	48,5	323
Средние многолетние	39,8	52,0	69,7	64,7	38,5	186

Агрометеорологический фон вегетационного сезона 2023 г. характеризовался повышенным температурным режимом, а также недостаточностью атмосферных осадков в период формирования биомассы сои относительно нормы. В осенний период при повышенном количестве тепловых ресурсов наблюдался дефицит увлажнения, который весьма критично сказывался на начале вегетации озимой ржи. Условия вегетационного сезона 2024 г. в целом соответствовали норме. Однако в наиболее критичные для озимой ржи фазы онтогенеза – в мае и июле количество осадков было ниже нормы, тогда как условия теплообеспеченности превышали средние многолетние значения.

Достоверность статистических данных оценивали с привлечением программы MS Excel: для выявления корреляционной связи между изучаемыми показателями использовали критерий Пирсона; для сравнения средних применяли метод однофакторного дисперсионного анализа при уровне значимости 0,05.

**Результаты и их обсуждение.** Интерпретация данных по содержанию и динамике минеральных соединений азота является сложной почвенно-агрохимической проблемой и предметом для дискуссий. В связи с тем, что в почве непрерывно осуществляются превращения соединений азота по пути мобилизации или зак-

репления [23], в микролокусах создается множество относительно простых соединений, а также веществ с разной биодоступностью для микроорганизмов и растений. Поэтому даже на сравнительно небольших площадях наблюдаются значительные вариации по содержанию минеральных элементов и органических соединений как в пространстве, так и во времени. Это затрудняет статистическую обработку данных и может приводить к неправильным обобщениям и выводам.

Соя как культура, относящаяся к семейству бобовых, характеризуется определенной спецификой и напряженностью ассимиляции элементов минерального питания. Пик их аккумуляции совпадает с цветением культуры и наливом бобов. В это время соя поглощает практически 9/10 элементов питания от общей потребности. В связи с отмеченной спецификой необходима агрохимическая информация о процессах перемещения азота в подсистеме «педоценоз – микробиота – сельскохозяйственные культуры» в различные фазы онтогенеза культуры. Применение минеральных удобрений стимулирует микробиологическую активность и вызывает экспоненциальный рост микробной биомассы. Однако объемы ассимиляции азота микроорганизмами зависят от биодоступности углерода и эффективности его утилизации на

формирование новых клеток микробной плазмы. Наблюдалась невысокая обеспеченность агрочерноземов минеральным азотом в предпосевной период сои. Однако это не оказывалось критичным для формирования первичной фитомассы культуры. Наибольшую концентрацию

нитратной и аммонийных форм азота имела почва вариантов с внесением фосфоритной муки в дозе 1,5 т/га, а также при применении сульфоаммофоса. Напротив, по уровню иммобилизации почва всех вариантов характеризовалась высокими значениями (рис. 1).

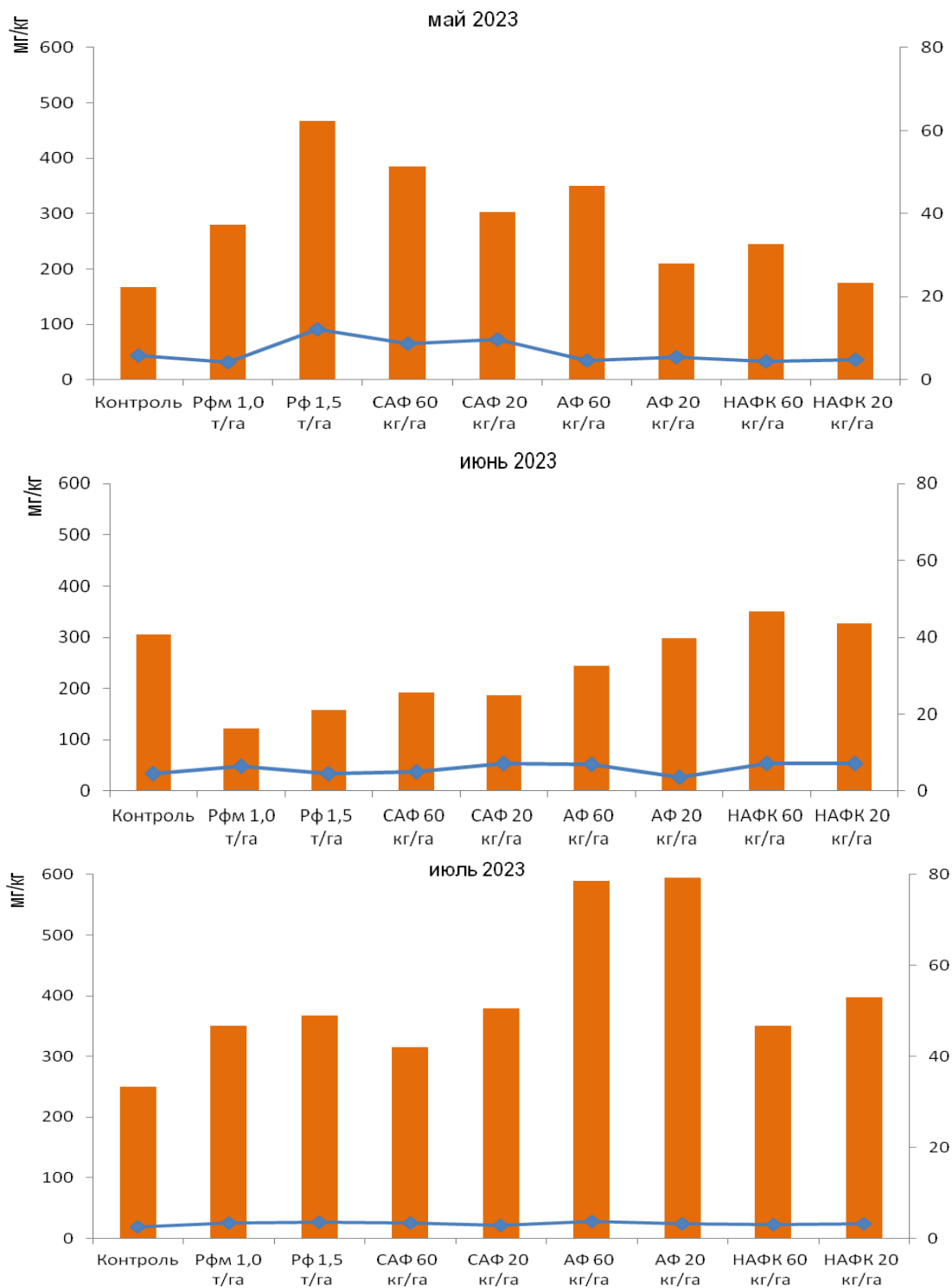


Рис. 1. Содержание минерального ( $NH_4 + NO_3$ ) и микробного ( $N_{mb}$ ) азота в вариантах опыта под посевами сои  
 The content of mineral ( $NH_4 + NO_3$ ) and microbial ( $N_{mb}$ ) nitrogen in the experimental variants under soybean crops

Представленные результаты указывали на поглощение микробной биомассой соединений азота, поступивших в предшествующие периоды землепользования опытного поля. Максимумы ассимиляции азота в микробной биомассе были найдены в почве вариантов с фосфоритной мукой в дозе 1,5 т/га и сульфоаммофосом в дозе 60 кг/га. Заметим, что эти данные являются фоновыми и свидетельствуют, скорее, о внутривариантной пестроте содержания соединений азота в клетках живой фазы почвы в весенний период.

Далее, в период прироста зеленой массы сои (в фазу второго тройчатого листа), фиксировался дефицит минеральных соединений азота, причем аммиачного азота были найдены лишь «следовые» количества. Вероятно, азот минеральных удобрений, во-первых, вовлекался в биологическое поглощение культурой, а во-вторых, ассимилировался микробной биомассой. Например, по мнению [24], слабые запасы и концентрации в почве минерального азота не всегда индуцируют слабую минерализацию азота, а скорее, свидетельствуют о его интенсивной иммобилизации. Примечательно, что применение азотно-фосфорно-калийного удобрения приводило к более значимому поглощению азота микробной биомассой. Корреляционная зависимость содержания  $N_{мб}$  от температуры и уровня осадков на данном варианте была сильной ( $r = 0,65-0,85$ ). Интересно также отметить, что в почве всех вариантов обнаруживалась

сильная обратная зависимость между содержанием минеральных соединений азота и температурой ( $r = 0,70-0,90$ ), указывающая на их фиксацию органическими коллоидами в результате увеличения удельной поверхности, а также активной фазой почвенного органического вещества. К окончанию фаз бутонизации – начала бобообразования сои уровень иммобилизации азота оставался значимым. Также фактором, индицирующим разнонаправленность процессов минерализации-иммобилизации азота, являлись количественные оценки насыщенности органического вещества почвы азотом ( $C : N$ ) (рис. 2).

Выявленные диапазоны  $C : N$  в почве фитотенноза сои определили обеспеченность гумуса азотом как низкую и среднюю, что, вероятно, вызвано многолетним применением безотвальных технологий, средств защиты растений и обогащенностью верхней части пахотного слоя высокоуглеродистыми растительными остатками злаковых культур на объекте исследований. Результаты корреляционного анализа выявили умеренную зависимость урожайности сои от отношения  $C : N$  в почве ( $r = 0,61$ ), а также значимое участие минеральных соединений азота в формировании фитомассы сои в фазу цветения.

Химический состав растений, интегрируя «треугольник Д.Н. Прянишникова», отражает взаимодействие почвы, растений и удобрений и может являться важнейшей характеристикой качественного состава кормовых культур (табл. 3).

Таблица 3

**Химический состав биомассы сои и ее продуктивность**  
**Chemical composition of soybean biomass and its productivity**

Вариант	Переваримый протеин, %	Содержание валовых элементов, %			Продуктивность сои, ц/га
		N	P	K	
1. Контроль	12,91	2,39	0,23	1,61	183
2. P <sub>ф</sub> 1 т/га + N <sub>а</sub> 100 + K <sub>с</sub> 60	9,62	1,78	0,26	1,84	123
3. P <sub>ф</sub> 1,5 т/га + N <sub>а</sub> 100 + K <sub>с</sub> 60	9,79	1,81	0,27	1,92	149
4. САФ 20 + K <sub>с</sub> 60	8,54	1,58	0,31	1,68	166
5. САФ 60 + K <sub>с</sub> 60	8,81	1,63	0,29	1,67	189
6. АФ 20 + K <sub>с</sub> 60	9,79	1,81	0,21	1,46	177
7. АФ 60 + K <sub>с</sub> 60	8,22	1,52	0,28	1,75	161
8. НАФК 20 + K <sub>с</sub> 60	11,68	2,16	0,27	1,72	128
9. НАФК 60 + K <sub>с</sub> 60	9,03	1,67	0,29	1,74	174
НСР <sub>05</sub>	3,5	0,67	0,08	0,58	20

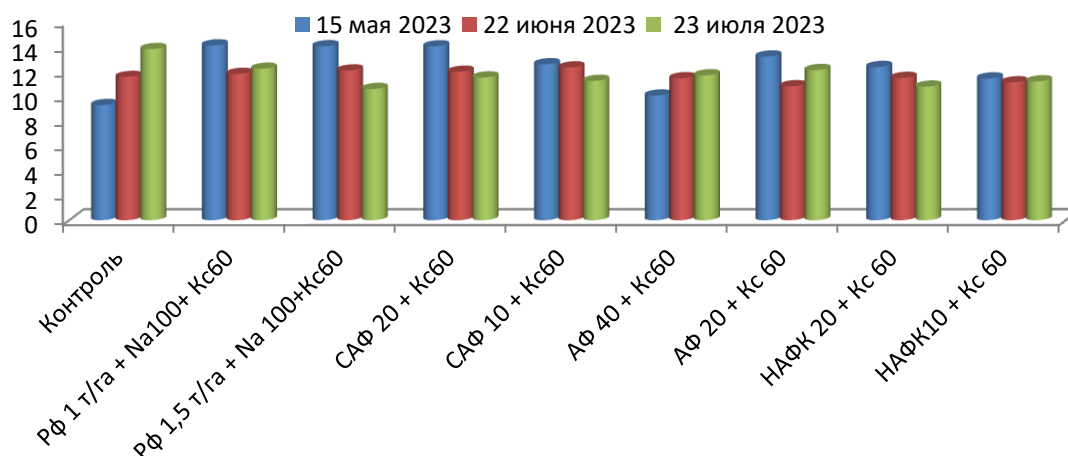


Рис. 2. Отношение C : N в почве вариантов опыта в вегетационный сезон сои (2023)  
The C : N ratio in the soil of the experience options during the soybean growing season (2023)

Учитывая, что питание отдельных полевых культур характеризуется избирательностью в отношении химических элементов, основным фактором регулирования обмена веществ в растениях и их химического состава являются условия минерального питания. Данные таблицы 3 иллюстрируют, что при меньшей дозе применяемых минеральных удобрений наблюдалась тенденция к накоплению переваримого протеина в зеленой биомассе сои. Также выявлено сопряжение между содержанием фосфора и отношением азота к фосфору в сухом веществе биомассы сои ( $r = -0,87$ ), указывающее на недостаточную обеспеченность растений подвижным фосфором. Это обуславливало аккумуляцию азота в зеленой массе сои. Не менее показательной статистикой является сопряженность между данными о соотношении азота к

фосфору в растении и уровнем накопления белка ( $r = 0,81$ ), что свидетельствует о влиянии фосфора на процессы синтеза азотсодержащих органических соединений в биомассе сои.

Таким образом, применение минеральных удобрений в сложившихся гидротермических и почвенно-агрохимических условиях обуславливало значительную ассимиляцию азота микробной плазмой, повышая пул данного элемента питания как ближайшего ресурса. Выявлено достоверное преимущество серосодержащего минерального удобрения в дозе 60 кг д.в/га в увеличении урожайности сои.

Результаты почвенной диагностики демонстрировали пролонгированное доминирование процессов связывания азота микробной биомассой (рис. 3).

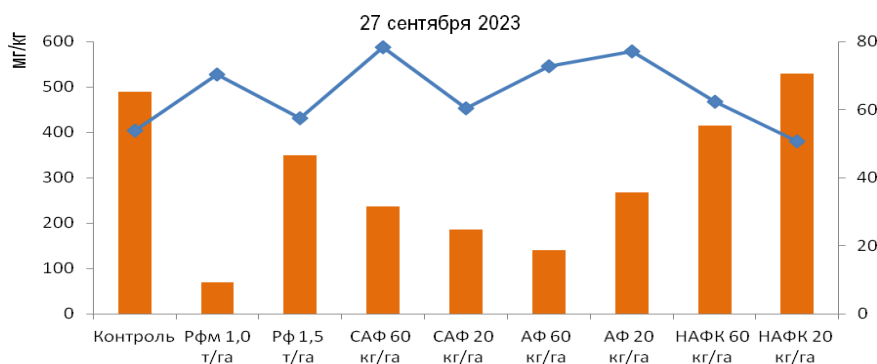
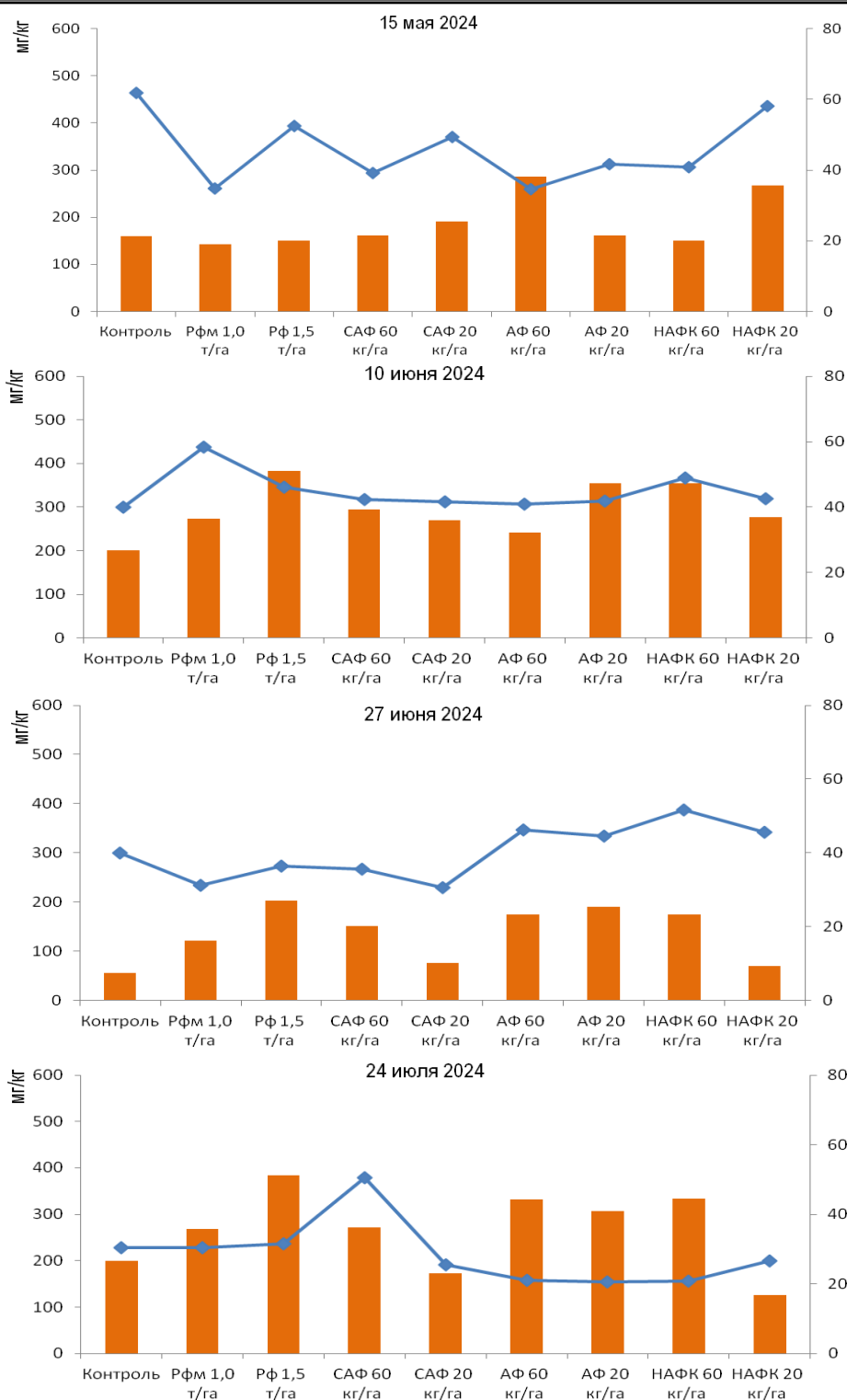


Рис. 3. Содержание минерального (NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>) и микробного (N<sub>mb</sub>) азота в вариантах опыта в почве под озимой рожью  
The content of mineral (NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>) and microbial (N<sub>mb</sub>) nitrogen in the experimental variants in the soil under winter rye



Окончание рис. 3

Необходимо отметить, что повышенное концентрирование азота микробной биомассой повышало агрономическое и экологическое значение данного процесса, поскольку данная форма азота утратила способность выщелачиваться в

результате выпадения осадков больше нормы и весеннего снеготаяния. Кроме того, уровень накопления азота в гумусе в фазу всходов свидетельствовал о высоких его значениях (рис. 4).

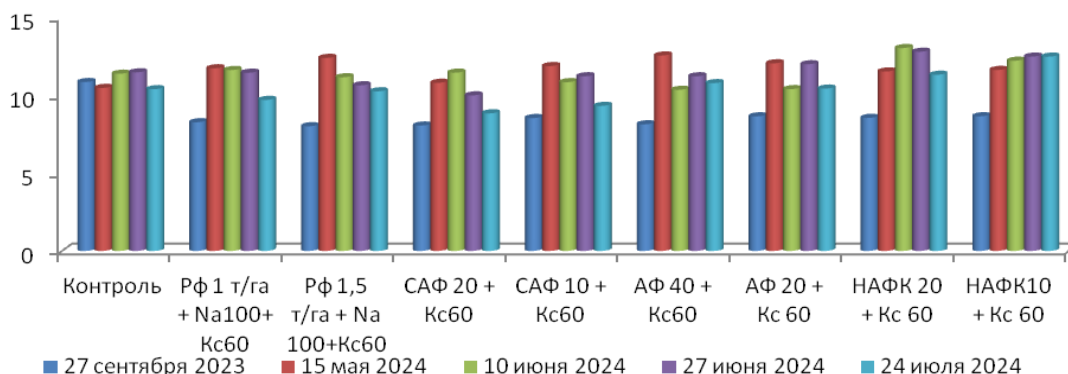


Рис. 4. Отношение C : N в почве вариантов опыта в вегетационный сезон озимой ржи (2024)  
The C : N ratio in the soil of the experimental variants during the winter rye growing season (2024)

Вероятно, трансформация быстрорастворимого растительного опада сои стимулировала формирование органических соединений элемента. Данные агрохимических анализов диагностировали депрессию обеспеченности нитратным азотом озимой ржи на протяжении всех критических фаз онтогенеза (см. рис. 4). Напротив, содержание аммонийной формы азота было существенным и достигало очень высоких значений на протяжении всего жизненного цикла озимой ржи согласно оценочной шкале.

По-видимому, увеличение концентрации данных соединений обуславливалось влиянием минеральных удобрений и процессами гидролиза азотсодержащих органических соединений, высвобождающихся из растительного материала сои, и активной фазы почвенного органического вещества. Таким образом, направленность процессов минерализации-иммобилизации управляется, по мнению [25], биологически активным углеродом почвы.

В начале летнего периода, когда наблюдается максимум нуждаемости в азоте озимой

культуры, предрасположенность к иммобилизации сохранялась. Экстремумы показателя обнаруживались при внесении аммофоса в дозе 60 кг д.в/га и нитроаммофоски в дозе 20 кг д.в/га. Таким образом, под посевами ржи продолжалось доминирование иммобилизационных процессов. Однако количественные оценки микробного азота свидетельствовали о постепенном их сокращении в агроценозе озимой культуры, а динамика содержания аммонийного азота свидетельствовала об активно протекающих процессах трансформации легкоминерализуемых органических соединений и указывала на значимую роль растительного материала бобовой культуры в их пополнении.

Далее рассмотрим химический состав зерна и соломы озимой ржи. Данные в целом подтверждали сделанные ранее суждения о наблюдаемом дефиците минерального азота в почве под посевами озимой ржи. Это следует из низких концентраций фосфора в зерне, а также существенно меньшего накопления всех элементов в побочной продукции (табл. 4).

Таблица 4

**Химический состав зерна и соломы озимой ржи и ее урожайность**  
**Chemical composition of grain and straw of winter rye and its yield**

Вариант	Переваримый протеин, %	Содержание валовых элементов, %						Урожайность озимой ржи, ц/га
		Зерно			Солома			
		N	P	K	N	P	K	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Контроль	–	–	–	–	–	–	–	–
2. Pф 1 т/га + Na100 + Kс60	9,46	1,66	0,383	0,653	0,228	0,147	0,149	28,3
3. Pф 1,5 т/га + Na 100+Kс60	9,51	1,67	0,373	0,625	0,246	0,118	0,170	23,0

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4. САФ 20 + К <sub>с</sub> 60	9,17	1,61	0,355	0,663	0,261	0,132	0,143	23,8
5. САФ 60 + К <sub>с</sub> 60	8,94	1,57	0,381	0,664	0,257	0,112	0,159	25,2
6. АФ 20 + К <sub>с</sub> 60	9,34	1,64	0,379	0,615	0,264	0,126	0,149	25,4
7. АФ 60 + К <sub>с</sub> 60	9,06	1,59	0,359	0,635	0,240	0,109	0,145	35,8
8. НАФК 20 + К <sub>с</sub> 60	–	–	–	–	–	–	–	–
9. НАФК 60 + К <sub>с</sub> 60	8,49	1,49	0,414	0,636	0,245	0,151	0,173	23,0
НСР <sub>05</sub>	1,59	0,28	0,11	0,04	0,056	0,347	0,318	7,8

По количеству азота в зерне озимой ржи отличались варианты с внесением фосфоритной муки в дозах 1 и 1,5 т/га и характеризовались повышенным формированием переваримого протеина. Максимальная аккумуляция фосфора в зерне культуры также обнаруживалась в варианте с внесением нитроаммофоски в дозе 60 кг/га. В вариантах, где использовались изучаемые дозы сульфаммофоса, выявлены максимумы по содержанию калия. Известно, что процессы взаимного влияния азота и фосфора на поглощение и обмен веществ в растениях характеризуются соотношением N : P, диагностирующим обеспеченность почвы элементами питания.

В сибирском земледелии в условиях непродолжительного периода биологической активности на процессы мобилизации гумуса и расти-

тельного материала оказывают системное влияние как метеорологические условия (температурный режим и увлажнение), так и агротехнические приемы (предшественник, обработка, удобрения). Именно они определяют активность почвенной биоты и накопление мобильных азотсодержащих соединений [23]. Обозначенные авторами факторы существенно отразились на особенностях трансформации сложных азотсодержащих соединений агроценозов в агроценозе кукурузы.

Так, основным значимым изменением в процессах превращения азотсодержащих соединений стало существенное снижение микробной иммобилизации азота в почве всех вариантов. Достоверный спад наблюдался прежде всего на делянках с меньшими дозами применяемых удобрений (рис. 5).

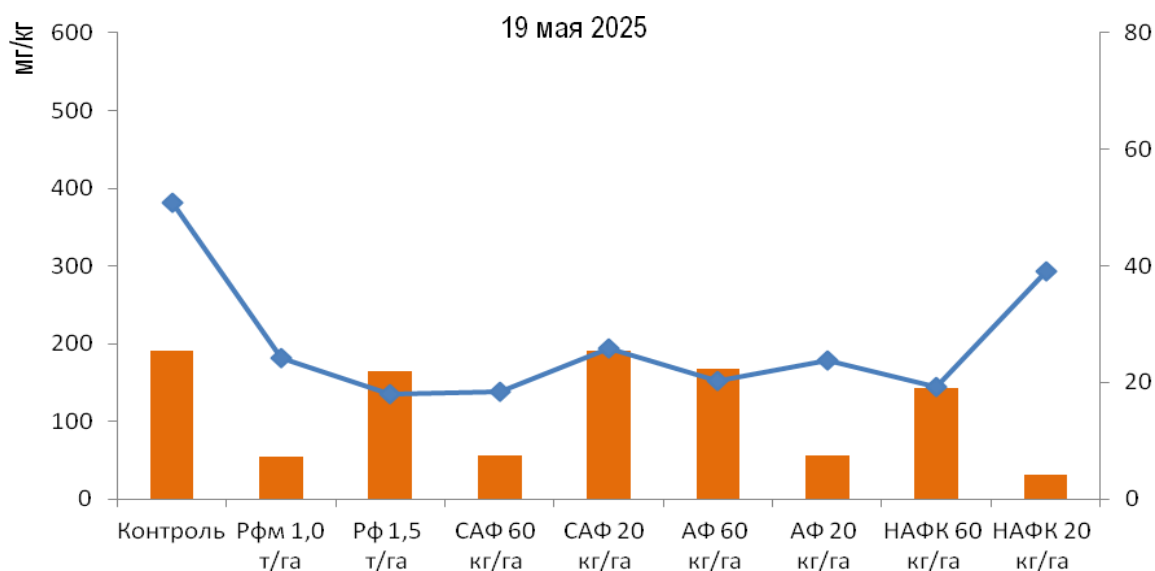
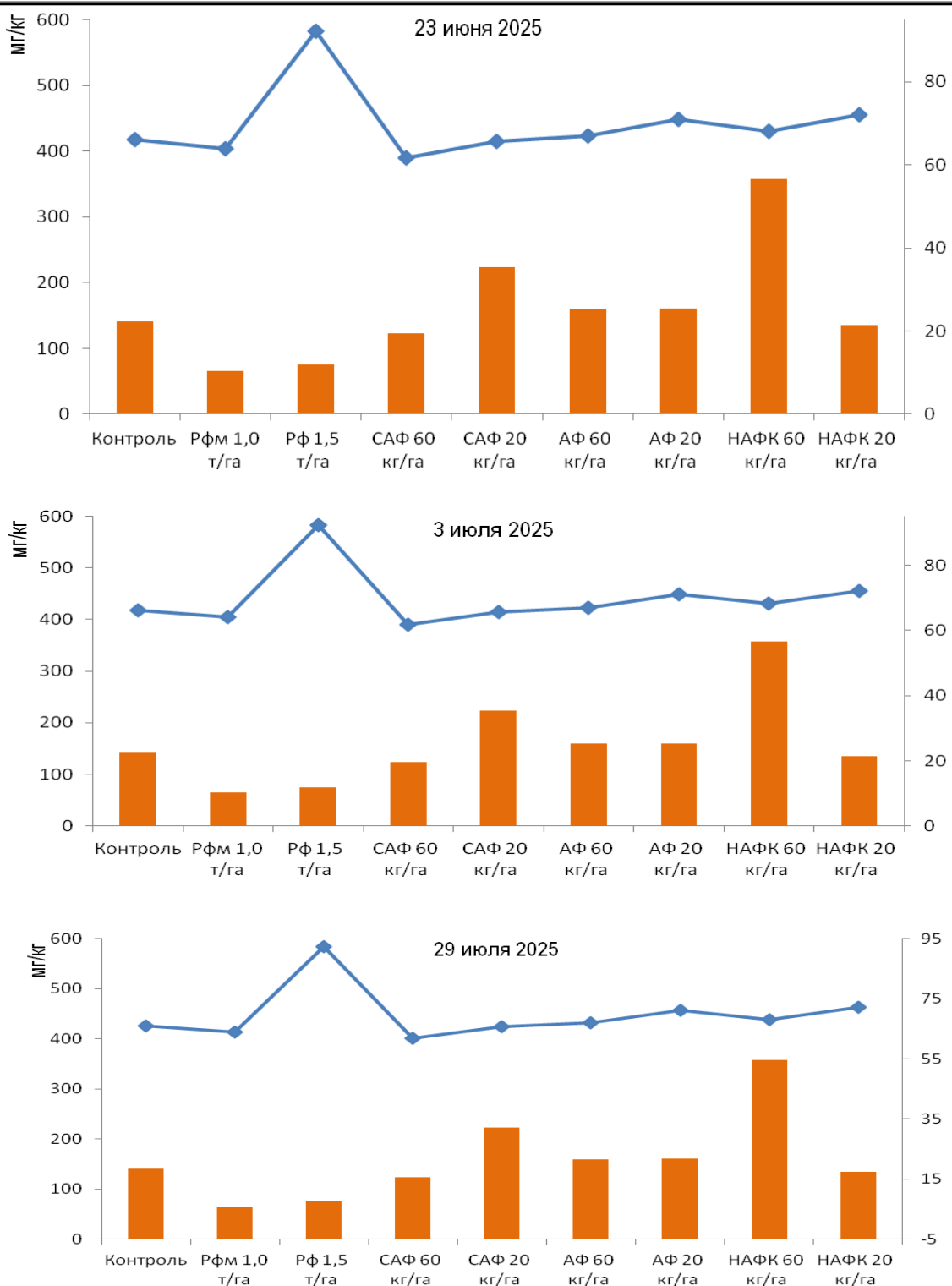


Рис. 5. Содержание минерального ( $NH_4+NO_3$ ) и микробного ( $N_{mb}$ ) азота в вариантах опыта в почве под кукурузой

The content of mineral ( $NH_4+NO_3$ ) and microbial ( $N_{mb}$ ) nitrogen in the experimental variants in the soil under corn



Окончание рис. 5

Далее, в течение вегетационного сезона кукурузы содержание  $N_{\text{мб}}$  варьировало в пределах 65–438 мг/кг, но в целом характеризовалось меньшими значениями относительно предыдущих рассматриваемых сезонов. Минимальные концентрации закрепления азота в плазме микроорганизмов были характерны для вариантов с использованием фосфоритной муки (внесенной

осенью 2022 г.) и сульфата аммония. С другой стороны, был зафиксирован значительный рост содержания минеральных соединений азота и, прежде всего нитрат-ионов в летний период. Суммарные значения ( $N-NH_4 + N-NO_3$ ) достигли 72 мг/кг, приближаясь к уровню иммобилизации. Ход динамики минеральных соединений азота обнаружил существенные концентрации

обеих форм элемента питания в фазу 3–4-го листа. В этот период максимальные значения нитратного азота наблюдались в почве с внесением сульфата аммония на фоне фосфоритной муки. Содержание аммонийного азота было очень высоким во всех сравниваемых вариантах. Известно, что в этот период растения кукурузы очень медленно развиваются и чувствительны к высокой концентрации солей в почвенном растворе. В фазу 7–11-го листа, при нарастании фотосинтетической активности культуры, наблюдалось интенсивное поглощение посевами питательных веществ, коррелировавшее с убылью нитратных и аммонийных соединений азота (см. рис. 5).

Перечисленные особенности, на наш взгляд, были вызваны спецификой биологических осо-

бенностей культуры, технологией ее возделывания (проведением междурядных обработок), а также благоприятными метеорологическими условиями периода активной вегетации (см. табл. 2). Так, корреляционная зависимость между содержанием нитратного азота и температурой была на уровне  $r = 0,70-0,99$ , количеством осадков –  $r = 0,67-0,92$ .

Данные по соотношению C : N в почве под кукурузой выявили в целом устойчивое состояние углеродно-азотного баланса в органическом веществе агрочернозема, характеризующемся низким уровнем обогащенности азотом. Исключением был вариант с дозой внесения нитроаммофоски 20 кг д.в./га, где наблюдалось увеличение доли органического азота до средних значений показателя (рис. 6).

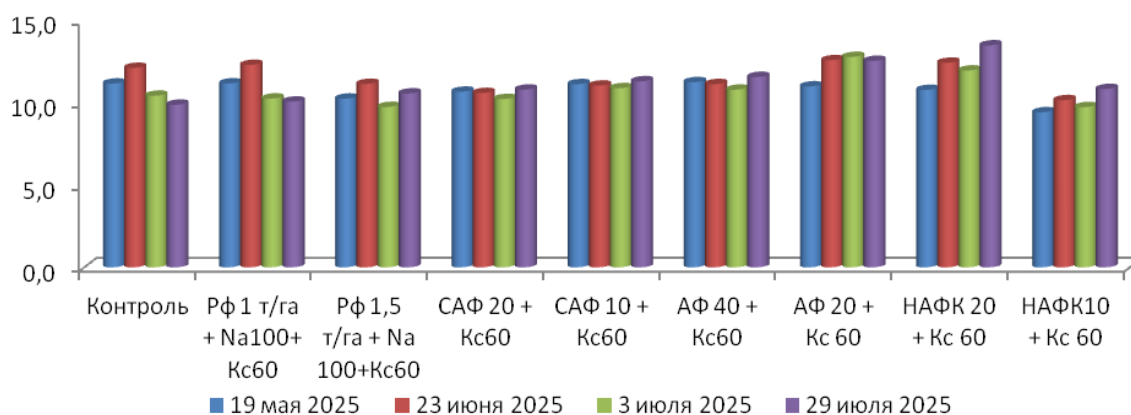


Рис. 6. Отношение C : N в почве вариантов опыта в вегетационный сезон кукурузы (2025)  
The C : N ratio in the soil of the experience options during the maize growing season (2025)

Интересно отметить, что отношение C : N, отмечаемое в предпосевной период кукурузы, существенно повлияло на уровень ее урожайности ( $r = -0,70$ ), указывая на значимость пула органического азота в начале вегетационного сезона сельскохозяйственных культур.

Поглощение питательных веществ растениями из почвы происходит в результате сложных физических, химических, физико-химических и физиологических процессов, протекающих в почве при взаимодействии почвы с корневой системой. На протяжении вегетационного периода биологическая потребность в питательных веществах не совпадает с выносом, поскольку значительная их часть в процессе роста и развития растений перемещается и накапливается в различном количестве в отчуждаемой продукции, корнях и растительных ос-

татах. Процессы взаимного влияния азота и фосфора на поглощение и обмен веществ в растениях кукурузы в фазу молочной спелости характеризовались соотношением N : P в листостебельной биомассе от 3,0 до 4,4. Учитывая, что оптимальным отношением является значение 2,5, данные параметры, вероятно, свидетельствуют об оттоке пластических веществ из зеленой биомассы в репродуктивные органы, а также могут указывать на низкую обеспеченность почвы подвижным фосфором. На фоне всех рассматриваемых вариантов количественные оценки элементов питания в растительной биомассе кукурузы в условиях применения нитроаммофоски отличались существенно большим их содержанием, в т. ч. по аккумуляции соединений азота (табл. 5).

Продуктивность, ц/га, и химический состав, %, зеленой массы кукурузы  
Productivity, c/ha, and chemical composition, %, of green mass of corn

Вариант	Содержание валовых элементов, %			Продуктивность зеленой массы кукурузы, ц/га
	N	P	K	
1. Контроль	0,885	0,295	2,850	530
2. P <sub>ф</sub> 1 т/га + N <sub>а</sub> 100 + K <sub>с</sub> 60	0,703	0,233	2,215	583
3. P <sub>ф</sub> 1,5 т/га + N <sub>а</sub> 100 + K <sub>с</sub> 60	1,090	0,270	2,400	643
4. САФ 20 + K <sub>с</sub> 60	0,960	0,283	2,355	488
5. САФ 60 + K <sub>с</sub> 60	0,850	0,288	2,513	629
6. АФ 20 + K <sub>с</sub> 60	1,145	0,335	2,618	501
7. АФ 60 + K <sub>с</sub> 60	1,070	0,260	2,383	591
8. НАФК 20 + K <sub>с</sub> 60	1,490	0,336	2,668	747
9. НАФК 60 + K <sub>с</sub> 60	1,333	0,430	2,595	756
НСР <sub>05</sub>	0,25	F <sub>ф</sub> < F <sub>т</sub>	F <sub>ф</sub> < F <sub>т</sub>	120

Весьма значимые различия были обнаружены также в уровне урожайности зеленой массы кукурузы.

Статистически достоверную прибавку показывали варианты с внесением нитроаммофоски. Кроме того, установлено, что при больших дозах внесения удобрений продуктивность кукурузы увеличивалась статистически достоверно только на варианте с сульфаммофосом, тогда как при меньших дозах применения удобрений наблюдались большие количества азота и, соответственно, переваримого протеина в зеленой биомассе кукурузы. Наблюдениями установлено, что в фазы наибольшей потребности в минеральном азоте содержание нитратного азота увеличивалось, а его достоверное влияние на урожайность подтверждалось значимыми коэффициентами корреляции ( $r = 0,75-0,87$ ).

**Заключение.** В работе обсуждалась роль видов и доз минеральных удобрений в накоплении нитратных и аммиачных соединений азота в агроценозах, а также уровень его иммобилизации в динамике. Содержание азота в микробной биомассе указывало на преобладание процессов иммобилизации в почве. Повышенный температурный фон на посевах сои и кукурузы повышал уровень ассимиляции азота, а в агроценозе озимой ржи снижал его. Показано, что существенное влияние на концентрацию минеральных соединений оказывают культура-

предшественник и гидротермические условия. Растительные остатки сои оказывали статистически достоверное влияние на увеличение содержания аммонийного азота. На повышение его количества оказывал воздействие сульфаммофос. На посевах сои и озимой ржи повышение температуры отрицательно воздействовало на процессы нитратонакопления, в агроценозе кукурузы наблюдался обратный эффект. Аналогичные корреляции выявлялись между содержанием минеральных соединений азота и уровнем осадков. Существенное изменение в направленности процессов минерализации-иммобилизации азота оказала технология возделывания кукурузы. Предпосевная и между-рядные обработки сместили превращения в сторону минерализации. Отношение C : N в почве являлось фактором, формирующим уровень содержания азота в минеральной и поглощенной микроорганизмами форме только в отдельные фазы онтогенеза исследуемых сельскохозяйственных культур. Это влияние было разнонаправленным. Выявлены отрицательные корреляционные зависимости между содержанием азота в микробной биомассе и продуктивностью озимой ржи и кукурузы ( $r = -0,7$ ), что указывало на имеющуюся конкуренцию между фитоценозами и живой фазой почвы за минеральный азот.

**Список источников**

1. Шулико Н.Н., Хамова О.Ф. Биологические и агрохимические свойства чернозема выщелоченного при применении удобрений: монография. Омск: Омский АНЦ, 2022. 152 с. EDN: STBQAG.
2. Волюнкина О.В. Действие минеральных удобрений в зависимости от агрохимических и технологических условий их применения // *Агрохимия*. 2025. № 7. С. 47–57. DOI: 10.31857/S0002188125070063.
3. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Азот в агросистеме на черноземных почвах. М.: РАН, 2018. 180 с. EDN: UVIAYU.
4. Кудеяров В.Н. Влияние удобрений и системы земледелия на секвестрацию углерода в почвах // *Агрохимия*. 2022. № 12. С. 79–96. DOI: 10.31857/S0002188122120092.
5. Шайкова Т.В., Дятлова М.В., Волкова Е.С. Потребление и вынос основных элементов минерального питания озимой рожью при внесении комплексных удобрений // *Плодородие*. 2022. № 6. С. 3–7. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.01.
6. Ермохин Ю.И., Бобренко И.А. Система почвенно-растительной оперативной диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур // *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2016. № 4. С. 1–16. EDN: XHJVSU.
7. Бобренко И.А. Агрохимическая научно-педагогическая школа «Интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики питания растений» профессора Ю.И. Ермохина (к 100-летию Омского ГАУ) // *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2017. № 4. EDN: VSMUGT
8. Белова С.В. Диагностика питания овощных культур // *Картофель и овощи*. 2022. № 12. С. 13–16. DOI: 10.25630/PAV.2022.14.25.002.
9. Шарков И.Н., Сорокин О.Д., Колбин С.А. Прогнозируемая оценка целесообразности применения средств интенсификации в агротехнологиях // *Земледелие*. 2019. № 3. С. 14–17. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10303.
10. Башкин В.Н. Агрогеохимические технологии управления потоками CO<sub>2</sub> в агроэкосистемах. Сообщение 1. Факторы управления микробным звеном агрогеохимического круговорота // *Агрохимия*. 2023. № 6. С. 81–96. DOI: 10.31857/S0002188123060042.
11. Кудеяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 3–15. DOI: 10.1134/S000218811912007X.
12. Семенов В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 78–96. DOI: 10.31857/S0002188120060101.
13. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Роль азота микробной биомассы в азотном питании растений на почвах лесостепной зоны Западной Сибири // *Агрохимия*. 2017. № 1. С. 3–11. EDN: XQOAKV.
14. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Микробная биомасса и оценка устойчивости агропочв при применении различных технологий обработки // *Вестник КрасГАУ*. 2025. № 4. С. 75–89. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-75-89.
15. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н., Аветисян А.Т. Оценка азотмобилизующей способности чернозема выщелоченного при возделывании кормовых трав в Красноярской лесостепи // *Вестник КрасГАУ*. 2016. № 9. С. 172–180. EDN: WLSDTL.
16. Белоусов А.А. Реакция азота и углерода микробной биомассы чернозема выщелоченного в условиях минимизации обработки // *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 5. С. 156–163. EDN: ZDBAQT.
17. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Трансформация азотсодержащих соединений чернозема выщелоченного в условиях минимизации обработки // *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 5. С. 149–156. EDN: ZDBAQJ.
18. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Влияние различных уровней агроэкологических нагрузок на биохимические характеристики почвы // *Юг России: экология, развитие*. 2016. Т.11, № 4. С. 139–148. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-4-139-148.
19. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с. EDN: FGTRML.
20. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология. М.: Юрайт, 2016. 445 с.

21. Сорокина О.А. Эффективность действия и последствий фосфоритной муки на черноземе выщелоченном // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6. С. 3–10. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-3-10.
22. Овчаренко М.М. Фосфор и его содержание в системе «почва – растение – удобрение» // Агрохимический вестник. 2023. № 3. С. 3–5. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-3-001.
23. Гамзиков Г.П., Сулейменов С.З. Азотминерализующая способность серой лесной почвы Новосибирского Приобья при компостировании и паровании растительных остатков // Почвоведение. 2021. № 5. С. 582–591. DOI: 10.31857/S0032180X21050087.
24. Семенов В.М., Когут Б.М., Иванов А.Л. Почвенная секвестрация углерода в агроландшафтах: продовольственный императив климатической повестки // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2025. № 124. С. 10–69. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-10-69.
25. Семенов В.М. Экологическая агрохимия азота и углерода // Проблемы агрохимии и экологии. 2024. № 2. С. 57–68. DOI: 10.26178/AE.2024.14.30.010.

## References

1. Shuliko NN, Khamova OF. *Biologicheskiye i agrokhimicheskiye svoystva chernozema vyshchelochennogo pri primenenii udobreniy: monografiya*. Omsk: Omskiy ANTS; 2022. 152 p. (In Russ.).
2. Volynkina OV. Effect of mineral fertilizing depends on agrochemical and technological conditions of their use. *Agricultural Chemistry*. 2025;7:47-57. (In Russ.). DOI: 10.31857/s0002188125070063.
3. Zavalin AA, Sokolov OA, Shmyreva NYa. Azot v agrosisteme na chernozemnykh pochvakh. Moscow: RAN; 2018. 180 p. (In Russ.). EDN: UVIAYV.
4. Kudeyarov VN. Influence of fertilizers and farming systems on carbon sequestration in soils. *Agricultural Chemistry*. 2022;12:79-96. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188122120092.
5. Shaykova TV, Dyatlova MV, Volkova ES. The consumption and removal of the main elements of mineral nutrition by plants of winter rye when applying complex fertilizers. *Plodorodiye*. 2022;6:3-7. (In Russ.). DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.01.
6. Yermokhin Yul, Bobrenko IA. Sistema pochvenno-rastitel'noy operativnoy diagnostiki mineral'nogo pitaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU*. 2016;4:1-16. (In Russ.). EDN: XHJVSU.
7. Bobrenko IA. Agrokhimicheskaya nauchno-pedagogicheskaya shkola «Integratsionnaya sistema pochvenno-rastitel'noy operativnoy diagnostiki pitaniya rasteniy» professora Yu.I. Ermokhina (k 100-letiyu Omskogo GAU). *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU*. 2017;4. EDN: VSMUGT.
8. Belova SV. Diagnostika pitaniya ovoshchnykh kul'tur. Kartofel' i ovoshchi. 2022;12:13-16. (In Russ.). DOI: 10.25630/PAV.2022.14.25.002.
9. Sharkov IN, Sorokin OD, Kolbin SA. Predicted assessment of applying intensification means in agricultural technologies. *Agriculture*. 2019.3:14-17. (In Russ.). DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10303.
10. Bashkin VN. Agrogeochemical technologies for managing CO<sub>2</sub> flows in agroecosystems. Message 1. Management factors of the microbial link of the agrogeochemical cycle. *Agricultural Chemistry*. 2023;6:81-96. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188123060042.
11. Kudeyarov VN. The agrobiogeochemical cycles of carbon and nitrogen of russian croplands. *Agricultural Chemistry*. 2019;12:3-15. (In Russ.). DOI: 10.1134/S000218811912007X.
12. Semenov VM. Functions of carbon in the mineralization-immobilizationturnover of nitrogen in soil. *Agricultural Chemistry*. 2020;6:78-96. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188120060101.
13. Nazaryuk VM, Kalimullina FR. The role of the microbial biomass nitrogen in nitrogen nutrition of plants grown on the soils of forest steppe in Western Siberia. *Agricultural Chemistry*. 2017;1:3-11. (In Russ.). EDN: XQOAKV.
14. Belousov AA, Belousova EN. Microbial biomass and assessment of agrosil sustainability when using various processing technologies. *Bulletin of KSAU*. 2025;4:75-89. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-75-89.

15. Belousov AA, Belousova EN, Avetisyan AT. The assessment of nitrogen mobilizing ability of leached chernozom in the cultivation of forage crops in Krasnoyarsk forest-steppe. *Bulletin of KSAU*. 2016;9:172-180. (In Russ.). EDN: WLSDTL.
16. Belousov AA. The reaction of nitrogen and carbon of microbic biomass of the chernozom leached in the conditions of processing minimization. *Bulletin of KSAU*. 2017;5:156-163. (In Russ.). EDN: ZDBAQT.
17. Belousova EN, Belousov AA. Transformation of nitrogen-containing leached chernozom compounds in the conditions of processing minimization. *Bulletin of KSAU*. 2017;5:149-156. (In Russ.). EDN: ZDBAQJ.
18. Shchur AV, Vinogradov DV, Val'ko VP. Vliyaniye razlichnykh urovney agroekologicheskikh nagruzok na biokhimicheskiye kharakteristiki pochvy. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*. 2016;4:139-148. (In Russ.). DOI: 10.18470/1992-1098-2016-4-139-148.
19. Vorob'yeva LA. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv*. Moscow: GEOS; 2006. (In Russ.). EDN: FGTRML.
20. Emtsev VT, Mishustin EN. *Mikrobiologiya*. Moscow: Yurayt; 2016. (In Russ.).
21. Sorokina OA. The efficiency of effect and after-effect of phosphoritic flour on chernozem lixivious. *Bulletin of KSAU*. 2020;6:3-10. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-3-10.
22. Ovcharenko M.M. Phosphorous and it's content in "soil – plant – fertilizer" system. *Agrochemical herald*. 2023;3:3-5. (In Russ.). DOI: 10.24412/1029-2551-2023-3-001.
23. Gamzikov GP, Suleimenov SZ. Nitrogen mineralization capacity of gray forest soil of the Novosibirsk Ob river Region during composting and fallowing of plant residues. *Soil Science*. 2021;5:582-591. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0032180X21050087.
24. Semenov VM, Kogut BM, Ivanov AL. Soil carbon sequestration in the agro-landscapes: the food imperative of the climate agenda. *Dokuchaev soil bulletin*. 2025;124:10-69. (In Russ.). DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-10-69.
25. Semenov VM. Ecological agrochemistry of nitrogen and carbon. *Agrochemistry and ecology problems*. 2024;2:57-68. (In Russ.). DOI: 10.26178/AE.2024.14.30.010.

Статья принята к публикации 07.04.2026 / The article accepted for publication 07.04.2026

Информация об авторах

**Александр Анатольевич Белоусов**, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук

**Елена Николаевна Белоусова**, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук

**Виктория Валерьевна Гавриленко**, студент

Information about the authors:

**Alexander Anatolyevich Belousov**, Associate Professor, Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences

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

**Victoria Valeryevna Gavrilenko**, student

