



# НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ

Научная статья

УДК 631.84:631.841

doi: 10.55186/25876740\_2025\_68\_3\_369

## ФИТОТЕСТИРОВАНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НОВЫХ ФОРМ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

**А.А. Завалин<sup>1</sup>, Л.А. Свиридова<sup>1</sup>, В.М. Лапушкин<sup>1,2</sup>,**

**К.С. Лещинская<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>3</sup>Метафракс Кемикалс, Москва, Россия

**Аннотация.** Провели фитотестирование почв с традиционной и новыми формами азотных удобрений в лабораторных условиях во ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова в 2024-2025 гг. Испытывали пролонгированные карбамидоформальдегидные удобрения (КФУ), которые содержат быстрорастворимый и медленнорастворимый азот. Оценивали длину корней проростков яровой пшеницы и горчицы белой в дерново-подзолистой почве и чернозёме выщелоченном после компостиования удобрений в течение 28 и 50 суток. При внесении обычного карбамида, вне зависимости от типа почвы и культуры, с увеличением срока компостиования наблюдали более сильное угнетение роста корней растений. Менее выраженное отрицательное влияние продукты распада удобрений оказывали на горчицу белую. В целом по опыту фитотоксичность КФУ была ниже по сравнению со стандартным карбамидом, а также ниже в чернозёме выщелоченном по сравнению с дерново-подзолистой почвой. Стимулирующий эффект от пролонгированных форм азотных удобрений при длительном компостировании выявлен в чернозёме на растениях горчицы белой соответственно на 9; 63 и 137% и на растениях яровой пшеницы по КФУ-3 на 28%. Изучение динамики превращения удобрений показало, что содержание аммонийного азота в почве на 21-е сутки снижалось до исходного уровня и аммиачное отравление не могло служить причиной фитотоксичности. Показано, что накопление азотной кислоты в результате нитрификации приводило к существенному подкислению почвы. В варианте с карбамидом на 21-28-е сутки происходило более выраженное снижение реакции почвенной среды pH солевой до 4,6-4,7 ед., что на 0,6-0,7 ед. ниже, чем в исходной почве, при внесении КФУ pH солевой был достоверно выше и составлял 4,9-5,0 единиц.

**Ключевые слова:** фитотестирование, дерново-подзолистая почва, чернозём выщелоченный, карбамид, карбамидоформальдегидные удобрения, КФУ, МФУ, яровая пшеница, горчица белая, аммонификация, нитрификация

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке Российской научного фонда в рамках научного проекта № 24-16-00068 «Разработать способы повышения эффективности использования растениями азота из минеральных удобрений для формирования урожая зерновых культур и оптимизации».

Original article

## PHYTOTESTING OF SOD-PODZOLIC SOIL AND LEACHED CHERNOZEM WHEN USING NEW FORMS OF NITROGEN FERTILIZERS

**A.A. Zavalin<sup>1</sup>, L.A. Sviridova<sup>1</sup>, V.M. Lapushkin<sup>1,2</sup>,**

**K.S. Leshinskaya<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Metafrax Chemicals, Moscow, Russia

**Abstract.** Phytotesting of soils with traditional and new forms of nitrogen fertilizers was carried out in the laboratory at the D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry in 2024-2025. Prolonged-release urea-formaldehyde fertilizers (UF), which contain fast- and slow-soluble nitrogen, were tested. The length of the roots of spring wheat and white mustard seedlings in sod-podzolic soil and leached chernozem after composting fertilizers for 28 and 50 days was estimated. When applying conventional carbamide, regardless of the type of soil and crop, with an increase in the composting period, a stronger inhibition of plant root growth was observed. The decomposition products of fertilizers had a less pronounced negative effect on white mustard. In general, according to experience, the phytotoxicity of UFs was lower compared to standard carbamide, as well as lower in leached chernozem compared to sod-podzolic soil. The stimulating effect of prolonged forms of nitrogen fertilizers during prolonged composting was revealed in the chernozem on white mustard plants by 9; 63 and 137%, respectively, and on UF-3 spring wheat plants by 28%. The study of the dynamics of fertilizer conversion showed that the content of ammonium nitrogen in the soil decreased to the initial level on the 21st day and ammonia poisoning could not cause phytotoxicity. It is shown that the accumulation of nitric acid as a result of nitrification led to significant acidification of the soil. In the carbamide variant, on days 21-28, there was a more pronounced decrease in the reaction of the soil environment to the pHCl to 4.6-4.7 units, which is 0.6-0.7 units. lower than in the original soil, when applying UFs, the pHCl was significantly higher and amounted to 4.9-5.0 units.

**Keywords:** phytotesting, sod-podzolic soil, leached chernozem, urea, urea-formaldehyde fertilizers, UF, spring wheat, white mustard, ammonification, nitrification

**Acknowledgments:** the research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of the scientific project No. 24-16-00068 «To develop ways to increase the efficacy of plants using nitrogen from mineral fertilizers to form grain yields and optimize the functioning of agroecosystems».



Агрономический эффект от внесения минеральных удобрений под сельскохозяйственные растения очевиден, карбамид в настоящее время является основным формой азотных удобрений в мире [1]. Из внесенных минеральных удобрений около 40% используется растениями, до 30% азота закрепляется в почве и до 30% теряется в форме газообразных соединений [2, 3]. Применение азотных удобрений с пролонгированным действием позволяет уменьшить дозы внесения на 20–30% и снизить затраты на их внесение. Использование таких удобрений способствует улучшению качества сельскохозяйственной продукции, в частности, снижению уровня нитратов в ней [4]. Удобрения, пролонгированного действия, могут оказывать положительное влияние на почву в течение длительного времени. Карбамидоформальдегидные удобрения (КФУ) с медленным высвобождением азота положительно влияют на снижение загрязнения дренажных вод нитратами. По степени вымывания азота из различных азотных удобрений, азот КФУ наиболее стабилен и в 12 раз медленнее вымывается, чем из аммиачной селитры [5]. КФУ — это продукт конденсации карбамида и формальдегида, состоящий из цепочек от метилендиоксины до тетраметиленпентамочевины, содержит 36–40% азота в быстрорасторимой и медленнорастворимой форме, что обеспечивает его постепенное высвобождение в почву в течение вегетационного периода и делает его подходящим для различных групп сельскохозяйственных культур с учетом продолжительности их вегетационного периода.

Карбамид — это одно из самых высококонцентрированных азотных удобрений. Азот в карбамиде содержится в виде амида карбаминовой кислоты. Карбамид в почве разлагается под влиянием фермента уреазы, выделяемого многими бактериями, а также содержится в растительных остатках, который катализирует гидролиз мочевины с образованием аммиака и двуокиси углерода. Аммиак может улетучиться в атмосферу или вступить в реакцию с водой с образованием аммония ( $\text{NH}_4^+$ ), который является доступным источником азота для растений. В начальной стадии разложения карбамида в почве при увеличении концентрации ионов аммония  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{HCO}_3^-$  может подавляться развитие растений. Аммонийное питание растений может приводить к уменьшению роста корней, особенно молодых, по сравнению с нитратным питанием [5]. В процессе нитрификации происходит окисление аммиака до нитрита, а затем до нитрата. Поступление  $\text{NO}_3^-$  в растение более энергозатратное для самого растения, чем  $\text{NH}_4^+$ .

Скорость минерализации КФУ на  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{HCO}_3^-$  зависит от состава цепочек, активности микроорганизмов в почве, температуры, влажности. При использовании КФУ под сельскохозяйственные культуры выявлены изменения в структуре микробного сообщества в почвах: преобладающие микроорганизмы сообщества, которые вырабатывают различные ферменты, гидролизующие карбаминоформальдегидное удобрение [6]. Внесение КФУ удобрений в теплицах приводит к значительному повышению концентрации в воздухе внутри помещения формальдегида [7].

Повышение урожайности и качества урожая сельскохозяйственных культур связано с особенностями вносимых удобрений в почву, которые влияют на почвенную биоту, а также на

растения. Экотоксикологическое биотестирование почвы необходимо для оценки потенциального экологического риска, возникающего при внесении химических веществ в почвы. Биотический контроль признан доминирующим в системе экологической оценки почв [8, 9]. Проведение фитотестирования необходимо в связи с нарастающей антропогенной нагрузкой и ограниченностью самой почвы к самоочищению. Состояние почв в агроэкосистемах можно определить по показателям роста и развития высших растений. С помощью фитотестирования определяют как фитостимулирующие эффекты, так и токсичность почв. Известно, что реакция растений на то или иное химическое вещество, поступающее в почву, меняется в зависимости от типа почвы, кислотности, содержания гумуса, уровня удобренностии [5].

Фитотоксичность — это любое негативное воздействие на рост, физиологию и метаболизм растений, вызванное химическими веществами, такими как удобрения, гербициды, тяжёлые металлы. Токсичность почв проявляется за счёт накопления в почве загрязнителей или токсинов, образованных в процессе метаболизма микробиоты этих почв [8].

Метод определения фитотоксичности основан на реакции тест-культуры на наличие в почве веществ, влияющих на развитие растений. Состояние почв в агроэкосистемах можно определить по показателям роста и развития высших растений. О наличии фитотоксичности судят по изменению показателей роста проростков тест-растений. Изменения в метаболизме и росте растений являются результатом нарушения их физиологических функций. Это приводит к давлению фотосинтеза, ухудшению поглощения воды и питательных веществ, замедлению деления клеток или задержке прорастания семян. Известно, что устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды зависит от их стадии развития [9]. У растений есть периоды, когда они особенно нуждаются в питательных веществах, это важно учитывать при использовании удобрений. Первый из них, совпадает с началом роста и развития большинства растений. В это время молодые растения особенно требовательны к условиям минерального питания и чувствительны как к недостатку, так и к избытку питательных веществ [5].

Фитотоксический эффект от применения карбамида может быть вызван непосредственно токсичностью большого количества аммиака, накапливающегося в результате гидролиза при внесении высоких доз мочевины, а также, содержащегося в ней биурета. Как известно, основное разложение карбамида происходит в первые 7 дней после внесения удобрения в почву [5]. КФУ — удобрения с пролонгированным действием, высвобождение аммиака происходит постепенно, в течении вегетационного периода, поэтому изучать влияние на растения, образовавшихся продуктов разложения и их накопление в почве необходимо в динамике.

Цель исследования — провести фитотестирование традиционных и новых форм азотных удобрений на растениях пшеницы яровой и горчицы белой на ранних стадиях развития в дерново-подзолистой и черноземной почвах.

**Объекты и методы.** Исследования проводили в лабораторных условиях в ВНИИ агрономии имени Д.Н. Прянишникова в 2024–2025 годах с применением метода (ГОСТ Р ИСО 18763–2019) [10], который основан на сравне-

нии длины корней на ранних стадиях развития высших растений.

В опыте оценивали пролонгированные карбамидоформальдегидные удобрения (КФУ): КФУ-1, КФУ-2, КФУ-3 с массовой долей общего азота соответственно 36,8; 38,0 и 38,2%. Индекс активности удобрений составлял, соответственно 55,6; 68,3 и 34,0%. Таким образом, принципиальное отличие КФУ-3 от двух других марок заключалось в более низком индексе активности — большем содержанием фракции азота, нерастворимого в горячей воде.

Контролем служил карбамид с массовой долей общего азота 46,2%. Доза внесения удобрений — 6,6 мг N/100 г почвы, или в пересчете 200 кг N/га.

Испытывали удобрения на фитотоксичность на двух почвах: 1. Чернозём вьшщелоченный тяжелосуглинистый (Ульяновская область) со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса — 7,2% (ГОСТ 26213-2021), pH солевой вытяжки — 6,5 (ГОСТ 26483-85), содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 192 мг/кг и  $\text{K}_2\text{O}$  — 89 мг/кг (ГОСТ 26205-91);  $\text{N-NO}_3^-$  — 8,2 мг/кг (ГОСТ 26951-86);  $\text{N-NH}_4^+$  — 3,5 мг/кг (ГОСТ 26489-85). 2. Дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая (Московская область). Показатели почвенного плодородия: содержание гумуса — 1,7% (ГОСТ 26213-2021), pH солевой вытяжки — 5,3 (ГОСТ 26483-85); содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 176 мг/кг и  $\text{K}_2\text{O}$  — 198 мг/кг почвы (ГОСТР 54650-2011);  $\text{N-NO}_3^-$  — 7,2 мг/кг (ГОСТ 26951-86);  $\text{N-NH}_4^+$  — 7,0 мг/кг (ГОСТ 26489-85).

Использовали семена однодольного и двудольного тест-растений: 1. Пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum L.*). Сорт «Сударыня»; 2. Горчица белая (*Sinapis alba L.*), сорт «Семеновская».

Основные активные сроки потребления азота по двум этим культурам приблизительно 25–30 и 40–50 суток, поэтому в опыте определили 2 срока влияния азотных удобрений на рост и развитие растений. Фитотестирование проводили на 28 и 50 сутки компостиования различных форм азотных удобрений в увлажненных до 60% НВ почвах. Семена пшеницы яровой и горчицы белой высевали в плоские, прозрачные планшеты, в которые помещали 90 см<sup>3</sup> пропаренной исследуемой почвы в нижнюю камеру (рис. 1.) Планшеты помещали вертикально и выдерживали в климатической камере при температуре 25±1 °C. Испытания проводили в трехкратной повторности. Длину корней измеряли на 6 сутки (для горчицы) и на 7 сутки (для пшеницы). У растений пшеницы анализировали размеры самого длинного корня. Вычисляли (в процентах) фитотоксичность или стимуляцию для каждого вида растения в разных почвах по формуле:

$$\text{Фитотоксичность} = ((A - B) \times 100) / A, \%$$

где: A — среднее значение длины корня в контрольной почве; B — среднее значение длины корня в исследуемой почве.

Результаты обрабатывали методом дисперсионного анализа в программе STATISTICA. Степень фитотоксичности оценивали по шкале [11]: менее 20% — фитотоксичности нет; 20–40% — слабая фитотоксичность; 40–60% — средняя фитотоксичность; более 60% — сильная фитотоксичность.

Модельный лабораторный опыт по изучению динамики превращения удобрений проводили на дерново-подзолистой почве. Для проведения исследования почву увлажняли до 60% НВ.



Навеску, содержащую 20 г сухой почвы, помещали в стаканы и добавляли навеску удобрения, содержащую около 3 мг азота (с точностью до 0,0001 г), перемешивали и компостировали в течение 28 суток при температуре  $20\pm1^{\circ}\text{C}$ . Опыт закладывали в 15-ти кратной повторности, чтобы, через 5, 7, 14, 21 и 28 дней отбирать по 3 повторности каждого варианта опыта для проведения анализа. В указанные сроки в стаканы с почвой приливали по 50 см<sup>3</sup> экстрагента (1 н. KCl) и в полученной вытяжке определяли  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , содержание аммонийного азота (ГОСТ 26489-85) и нитратного азота методом УФ-спектрофотометрии [12]. Результаты анализа приводили к единой навеске азота — 3 мг.

**Результаты и обсуждение.** Фитотестирование дерново-подзолистой почвы после 28 и 50 суток компостиования удобрений показало, что происходила задержка роста корней тест-растения пшеницы яровой (табл. 1). Особенno это проявлялось на растениях при длительном компостиовании стандартного карбамида (50 суток), а также КФУ-1, КФУ-2 (средняя и сильная степень фитотоксичности). Во второй срок тестирования фитотоксический эффект усиливался, вероятно, из-за накопления продуктов разложения удобрений. При применении КФУ-3 отсутствует отрицательное воздействие на растения, как в первый, так и во второй срок тестирования.

Фитотоксичность почвы с внесением стандартного карбамида была выше, чем в почве без внесения удобрений (рис. 2), что подтверждается результатами исследований других авторов [12].

Результаты опыта по изучению влияния традиционной и новых форм азотных удобрений на проростки пшеницы показали (табл. 1), что токсический эффект отсутствует в первый срок (28 суток) тестирования на черноземной почве при внесении КФУ-1, КФУ-2.

Через 50 суток компостиования в почве удобрений (КФУ-1, КФУ-2) выявлен слабый фитотоксический эффект, видимо, из-за накопления продуктов распада удобрения (нитрата и аммония) ввиду отсутствия их потребления растениями. Это в 1,7 и 2,3 раза меньше угнетения роста корней, чем на растениях, выращенных с карбамидом (сильная фитотоксичность) (рис. 3).

На первый срок тестирования в черноземной почве с применением КФУ-3 выявлено среднее угнетение развития проростков, но во второй срок наблюдали стимуляцию роста корней растений (табл. 1). Как известно, чернозем более биологически активная и буферная почва, обладающая значительно большей емкостью



Рисунок 1. Планшеты с почвой и высеванными семенами горчицы белой и яровой пшеницы  
Figure 1. Boxes with soil and sown seeds of white mustard and spring wheat

Таблица 1. Эффект от различных форм азотных удобрений на ранних стадиях роста растений яровой пшеницы (длина корней)  
Table 1. The effect of various forms of nitrogen fertilizers in the early stages of spring wheat growth (root length)

Удобрение	Компостиование 28 суток		Компостиование 50 суток	
	Эффект действия, %	степень фитотоксичности	Эффект действия, %	степень фитотоксичности
<b>Дерново-подзолистая почва</b>				
Нм	-18,8	отсутствует	-52,4*	средняя
КФУ-1	-32,5*	слабая	-45,4*	средняя
КФУ-2	-26,1*	слабая	-77,0*	сильная
КФУ-3	-3,4	отсутствует	-14,9*	отсутствует
<b>Чернозём выщелоченный</b>				
Нм	-28,9*	слабая	-62,8*	сильная
КФУ-1	-12,4	отсутствует	-36,7*	слабая
КФУ-2	-18,9	отсутствует	-27,3*	слабая
КФУ-3	-40,8*	средняя	+28,4*	отсутствует

\* — разница в длине корней относительно контрольного варианта статистически достоверна при  $p=0,05$

катионного обмена, чем дерново-подзолистая почва, видимо, гидролиз удобрений происходил быстрее и благодаря агрохимическим свойствам чернозема и активной деятельности микрофлоры не происходило значительного накопления токсических веществ.

Таким образом, на обоих почвах (дерново-подзолистой почве и в черноземе) растения пшеницы подверглись негативному влиянию карбамида, КФУ-1, КФУ-2, фитотоксичность почвы увеличивалась с увеличением срока компостиования удобрений в почве, что отразилось на развитии корней. Также фитотоксичность в большей степени проявлялась на дерново-подзолистой почве — относительно контрольного варианта, уменьшение длины корней яровой пшеницы составило в среднем 38%, а на черноземе — 25%.

На дерново-подзолистой почве с компостиованными удобрениями испытывали двудольное тест-растение горчицу белую (табл. 2). В первый срок тестирования (28 суток) длина корня горчицы в опытных вариантах статистически не отличалась от контрольного. Негативного влияния на растения горчицы удобрения не оказывали. Во второй срок по длине корней горчицы разница с контролем статистически достоверна в вариантах с применением карбамида и КФУ-2 — выявлено угнетение роста корней (слабая и средняя фитотоксичность). Аналогичный результат во времени наблюдали на дерново-подзолистой и черноземной почвах на пшенице в качестве тест-растения. Карбамид, КФУ-1 и КФУ-2 по сравнению с контролем на рост корней горчицы не оказывали явно выраженного влияния.



Рисунок 2. Яровая пшеница на контрольной дерново-подзолистой почве и с карбамидом, 2 срок тестирования  
Figure 2. Spring wheat on control sod-podzolic soil and with urea, 2 test period

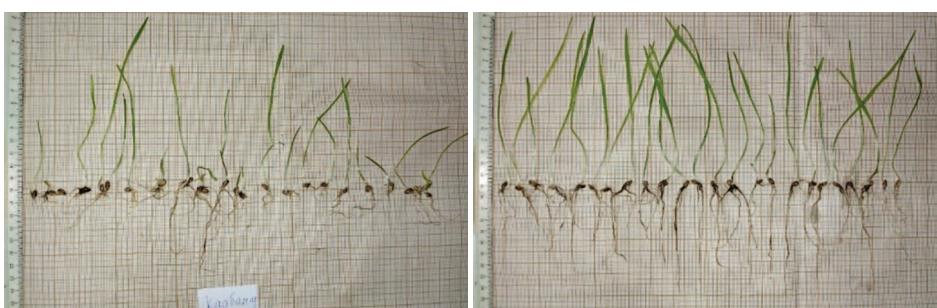


Рисунок 3. Измерение корней проростков яровой пшеницы (7 сутки) в вариантах с карбамидом (слева) и КФУ-2 (справа), чернозём 2 срок тестирования  
Figure 3. Measurement of the roots of spring wheat seedlings (day 7) in variants with urea (left) and UF-2 (right), chernozem 2 testing period





В первый срок фитотестирования в чернозёме выщелоченном на горчице негативный эффект от всех удобрений отсутствует (табл. 2). Наблюдали стимуляцию роста корней (карбамид, КФУ-2, КФУ-3). Компостирование в чернозёмной почве удобрений показало, что горчица белая по-другому реагировала на новые формы азотных удобрений (КФУ-1, КФУ-2, КФУ-3), в отличие от пшеницы, выращенной на той же почве. Выявили статистически достоверную прибавку длины корней горчицы при внесении КФУ. Удобрение КФУ-1 не оказывало негативного или стимулирующего влияния на рост растений, т.к. длина корня не отличалась от контрольного варианта без удобрений. Карбамид и накопленные после его гидролиза вещества во 2 срок тестирования оказывали угнетающее влияние на рост корней горчицы (средняя степень фитотоксичности). Стимулирующий эффект от КФУ увеличивался при более длительном сроке компостирования в почве.

В целом по опыту с горчицей фитотоксичность проявлялась в меньшей степени. На дерново-подзолистой почве в среднем уменьшение длины корней при применении удобрений составляло 13%, а на черноземе, напротив, наблюдался прирост на 33%.

На рис. 4 приведено обобщение результатов опытов, проведенных на двух почвах. Из данных диаграммы видно, что при выращивании пшеницы после компостирования почвы с карбамидом наблюдалось достоверное уменьшение длины корней, чего не происходило при применении медленнодействующих КФУ.

При использовании в качестве тест-растения горчицы белой, также наблюдалось незначительное уменьшение длины корней при внесении в почву карбамида и наблюдалась устойчивая тенденция к увеличению длины корня при использовании КФУ (рис. 4).

Для выяснения причин фитотоксичности и изучения динамики аммонификации и нитрификации карбамида и КФУ в почве, был проведен модельный опыт. Объектами исследования были выбраны карбамид, обладающий наиболее выраженной фитотоксичностью и КФУ-3, фитотоксичность которого была минимальна. Так как отрицательное действие удобрений на проростки растений в большей мере проявлялось на дерново-подзолистой почве, то изучение превращения удобрений проводили на почве того же типа.

Результаты исследований показали, что накопление в почве избыточного количества аммонийного азота в результате гидролиза карбамида и, как следствие, «аммиачное отравление» проростков не могло служить причиной угнетения развития растений. На рис. 5 видно, что аммонификация мочевины протекает очень быстро и содержание аммония в почве достигало максимума уже на 3-и сутки эксперимента, после чего наблюдалось его снижение и уже на 14-е сутки его содержание составляло 11 мг/кг, что является нормальным уровнем. На 21-е сутки опыта весь аммоний удобрений был нитрифицирован и его содержание вне зависимости от формы применяемого удобрения не превышало уровня контрольного варианта.

Следует отметить, что азот КФУ значительно медленнее переходил в усвояемую минеральную форму по сравнению с карбамидом (рис. 5, 6). Если на 28-е сутки эксперимента из состава карбамида в почве в нитратной форме

было обнаружено 90% от внесенного амидного азота, то при внесении КФУ — лишь 42% (рис. 6). Также отметим, что значительная нитрификация КФУ началась по прошествии 21-х суток от начала эксперимента и на две недели позже по сравнению с карбамидом. При этом интенсивность нитрификации КФУ существенно превосходила скорость его аммонификации и поэтому накопления значительных количеств аммония в почве не происходило (рис. 5).

Ввиду интенсивной нитрификации изучаемых удобрений было выдвинуто предположение, что причиной фитотоксичности могло стать подкисление почвы, что также объясняет, почему на более емком и буферном черноземе отрицательное действие удобрений на проростки было выражено в меньшей степени или вовсе отсутствовало.

Как представлено на рис. 7 применение карбамида и КФУ в первые 7 суток сопровождалось существенным ростом величины pH<sub>KCl</sub>, после чего происходило подкисление почвы, в следствие нитрификации и накопления в почве азотной кислоты. Из представленных данных видно, что в варианте с карбамидом происходило более выраженное подкисление и на 21-28-е сутки эксперимента реакция среды стабилизировалась на уровне 4,6-4,7 ед., что на 0,6-0,7 ед. ниже, чем pH<sub>KCl</sub> в исходной почве.

В свою очередь в варианте с внесением КФУ на 21-28-е сутки эксперимента pH<sub>KCl</sub> был достоверно выше и составлял 4,9-5,0 ед.

Подкисление почвы было вызвано интенсивной нитрификацией, что подтверждается корреляционно-регрессионным анализом связи между величиной pH<sub>KCl</sub> и содержанием в почве нитратного азота (рис. 8). Из представленных данных видно, что связь между содержанием нитрата в почве и величиной pH<sub>KCl</sub> прямая, обратная по направлению и характеризуется высокой теснотой ( $r=0,90$ ).

**Заключение.** Таким образом, проведенные исследования показали неодинаковую реакцию тест-растений на внесенные удобрения в зависимости от сроков компостирования и типа почвы. Чувствительность к продуктам распада удобрений проявляли как однодольные, так и двудольные растения, однако, менее выраженное отрицательное влияние оказывали удобрения на горчицу белую.

При внесении обычного карбамида, КФУ-1 и КФУ-2 в дерново-подзолистую почву, как с пшеницей, так и с горчицей наблюдали отрицательный эффект от этих удобрений, который усилился по сравнению с 28 сутками на 50 сутки компостирования удобрений. При внесении в почву КФУ-3 фитотоксичность отсутствовала.

Таблица 2. Эффект от различных форм азотных удобрений на ранних стадиях роста растений горчицы белой (длина корней)  
Table 2. The effect of various forms of nitrogen fertilizers in the early stages of white mustard growth (root length)

Удобрение	Компостирование 28 суток		Компостирование 50 суток	
	Эффект действия, %	степень фитотоксичности	Эффект действия, %	степень фитотоксичности
<b>Дерново-подзолистая почва</b>				
Нм	+9,8	отсутствует	-38,4*	слабая
КФУ-1	+10,2	отсутствует	-6,0	отсутствует
КФУ-2	-0,4	отсутствует	-57,5*	средняя
КФУ-3	-21,5	слабая	+10,1	отсутствует
<b>Чернозём выщелоченный</b>				
Нм	+38,9	отсутствует	-52,1*	средняя
КФУ-1	-9,7	отсутствует	+9,1	отсутствует
КФУ-2	+37,6	отсутствует	+63,0*	отсутствует
КФУ-3	+37,6	отсутствует	+137,7*	отсутствует

\* — разница в длине корней относительно контрольного варианта статистически достоверна при  $p=0,05$

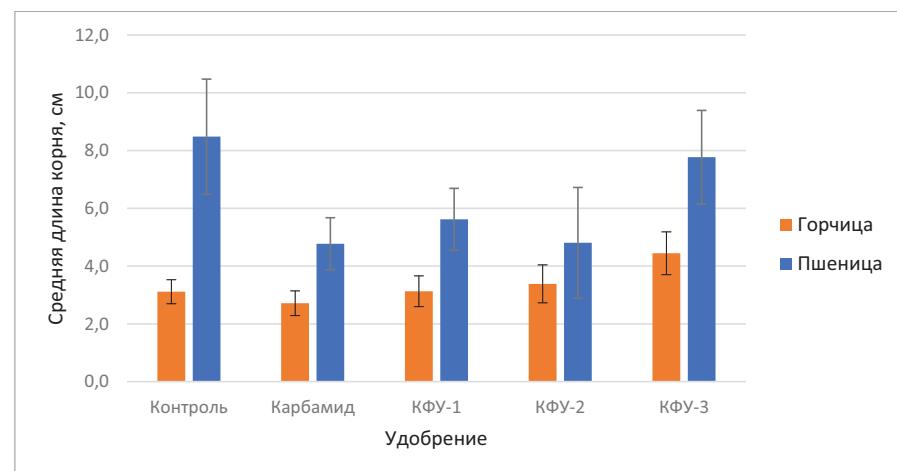


Рисунок 4. Средняя длина корней яровой пшеницы и горчицы белой при применении разных форм азотных удобрений (планками погрешностей показаны доверительные интервалы,  $n=12$ )  
Figure 4. Average root length of spring wheat and white mustard when using different forms of nitrogen fertilizers (error bars indicate confidence intervals,  $n=12$ )

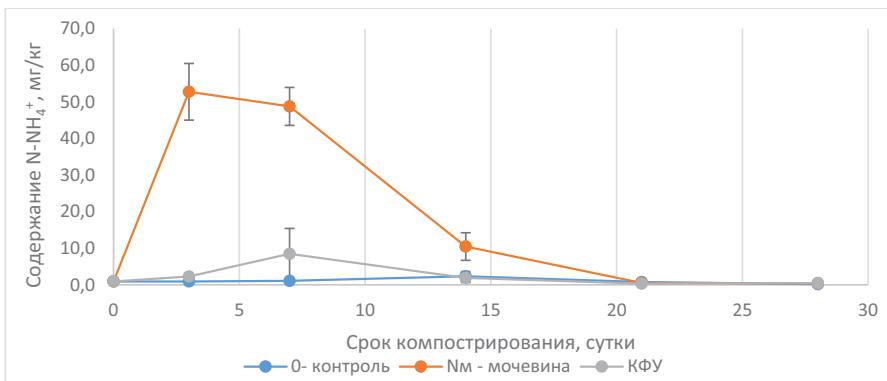


Рисунок 5. Динамика содержания в почве аммонийного азота при применении карбамида и КФУ (планками погрешностей показаны доверительные интервалы, n=3)

Figure 5. Dynamics of ammonium nitrogen content in soil with the use of urea and UF (error bars indicate confidence intervals, n=3)

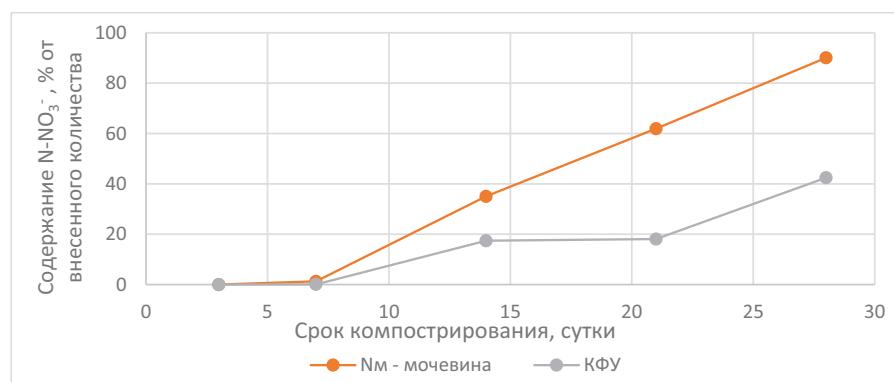


Рисунок 6. Динамика нитрификации азота удобрений (планками погрешностей показаны доверительные интервалы, n=3)

Figure 6. Dynamics of nitrification of fertilizer nitrogen (error bars indicate confidence intervals, n=3)

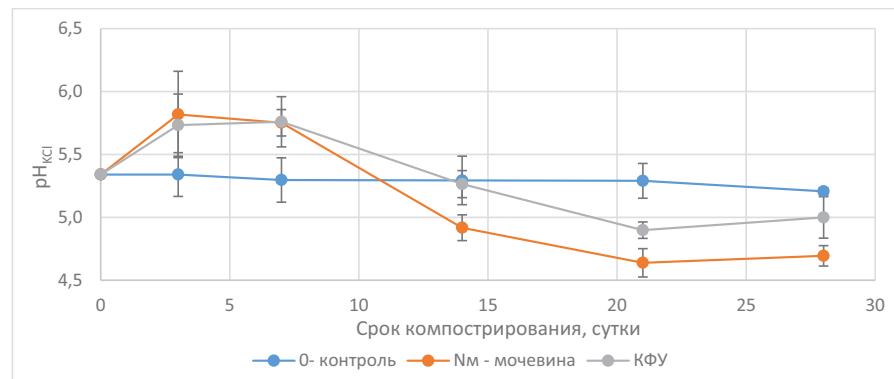


Рисунок 7. Динамика изменения pH<sub>KCl</sub> при применении карбамида и КФУ (планками погрешностей показаны доверительные интервалы, n=3)

Figure 7. Dynamics of pH<sub>KCl</sub> in soil with the use of urea and UF (error bars indicate confidence intervals, n=3)

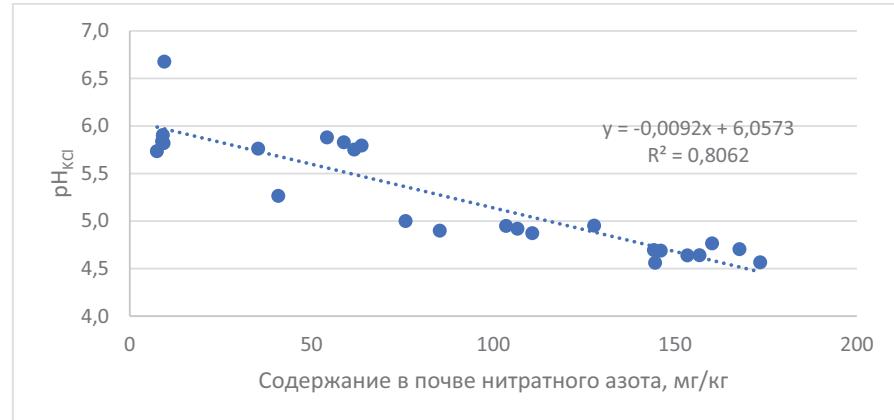


Рисунок 8. Зависимость между величиной pH<sub>KCl</sub> и содержанием в почве нитратного азота

Figure 8. Relationship between pH<sub>KCl</sub> and nitrate nitrogen content in soil

Фитотоксичность в большей степени проявлялась на дерново-подзолистой почве — относительно контрольного варианта, уменьшение длины корней яровой пшеницы составило в среднем 38%, а на черноземе — 25%. Достоверный стимулирующий эффект от удобрений после 50 суток компостирования по сравнению с контролем выявлен в чернозёме выщелоченном на растениях горчицы при внесении новых тестируемых форм азотного удобрения (КФУ-2, КФУ-3), соответственно на 63 и 137% и на растениях пшеницы в варианте с КФУ-3 на 28%.

Как следует из результатов исследования угнетение роста корней обуславливается не накоплением в почве аммонийного азота, который полностью нитрифицировался в течение 3 недель наблюдения, а подкислением почвы в следствие нитрификации.

#### Список источников

1. Завалин А.А., Свиридова Л.А. Пути повышения эффективности использования карбамида (обзор) // Агрохимия. 2024. № 11. С. 3-11.
2. Макаров В.И. Влияние доз карбамида и норм орошения на эмиссию аммиака из агродерново-подзолистой среднесуглинистистой почвы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 6 (152). С. 54-60.
3. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск, СО РАСХН, 2013. 790 с.
4. Trenkel M.E. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2010. 163 p.
5. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. Москва, Агроконсалт, 1999. 296 с.
6. Masahito Hayatsu. A novel function of controlled-release nitrogen fertilizers // Microbes Environ. 2014. 29(2):121-122.
7. Salthermer T., Gunschera J. Release of formaldehyde and other organic compounds from nitrogen fertilizers // Chemosphere. 2021. 263:127913.
8. Терехова В.А., Кулачкова С.А., Морачевская Е.В., Кирюшина А.П. Методология биодиагностики почв и особенности некоторых методов биоиндикации и биотестирования (обзор) // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2023. Т. 78. № 2. С. 35-45.
9. Воронина Л.П., Поногайбо К.Э. Подход к выбору методов фитотестирования для исследования почв // Агрохимия. 2021. № 9. С. 75-79.
10. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 18763-2019 «Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 августа 2019 г. N 497-ст).
11. Макаханюк Ж.С., Замана С.П. Использование салата латук в качестве тест-объекта для оценки загрязнения берегового грунта реки Ходча // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. том 67. № 2 (398). С. 225-228.
12. Лапушкин В.М. Определение содержания нитратного азота в почве методом УФ-спектрофотометрии // Плодородие. 2025. № 2(143). С. 9-13.
13. Титова В.И., Семенова Е.И. Влияние мочевины, модифицированной сорбентом на основе глауконита, на агрохимические свойства серой лесной почвы // Агрохимический вестник. 2021. № 3. С. 35-39.

#### References

1. Zavalin A.A., Sviridova L.A. (2024). Puti povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya karbamida (obzor) [Ways to increase the efficiency of carbamide use (review)]. Agrochemistry, no. 11, pp. 3-11.
2. Makarov V.I. (2017). Vliyanie doz karbamida i norm oroscheniya na emissiyu ammiaka iz agrodernovo-podzolistoi srednesuglinistoi pochvy [The effect of carbamide doses and





- irrigation standards on ammonia emissions from agro-turf-podzolic medium loamy soil]. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, no. 6 (152), pp. 54-60.
3. Gamzikov G.P. (2013). *Agrokhimiya azota v agrosenozakh*. [Agrochemistry of nitrogen in agroecosystems], Novosibirsk, SO RASKHIN.
4. Trenkel M.E. (2010). Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA).
5. Koren'kov D.A. (1999). *Agroekologicheskie aspekty primeneniya azotnykh udobrenii*. [Agroecological aspects of the application of nitrogen fertilizers], Moskva, Agrokonsalt.
6. Masahito Hayatsu (2014). A novel function of controlled-release nitrogen fertilizers. *Microbes Environ*, no. 29(2), pp. 121-122.
7. Salthammer T., Gunschera J. (2021). Release of formaldehyde and other organic compounds from nitrogen fertilizers. *Chemosphere*, no. 263, pp. 127913.
8. Terekhova V.A., Kulachkova S.A., Morachevskaya E.V., Kiryushina A.P. (2023). *Metodologiya biodiagnostiki pochv i osobennosti nekotorykh metodov bioindikatsii i biotestirovaniya (obzor)* [Methodology of soil biodiagnosis and features of some methods of bioindication and biotesting (review)]. *Bulletin of the Moscow University. Episode 17. Soil science*, vol. 78, no. 2, pp. 35-45.
9. Voronina L.P., Ponogaiko K. EH. (2021). *Podkhod k vyboru metodov fitotestirovaniya dlya issledovaniya pochv* [An approach to the selection of phytotesting methods for soil research]. *Agrochemistry*, no. 9, pp. 75-79.
10. Natsional'nyi standart RF GOST R ISO 18763-2019 (2019). «*Kachestvo pochvy. Opredelenie toksicheskogo vozdeistviya zagrazneniyashchikh veshchestv na vskhozhest' i rost na rannikh stadiyakh vysshikh rastenii*» [Soil quality. Determination of toxic effects of pollutants on germination and growth in the early stages of higher plants] (utv. i vveden v deistvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskому regulirovaniyu i metrologii ot 13 avgusta 2019 g. N 497-st).
11. Makakhanyuk Z.H.S., Zamana S.P. (2024). *Ispol'zovanie salata latuk v kachestve test-ob'ekta dlya otsenki zagryazneniya beregovogo grunta reki Khodtsa* // *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [The use of lettuce as a test object for assessing contamination of the coastal soil of the Khodtsa River]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*, vol. 67, no. 2 (398), pp. 225-228.
12. Lapushkin V.M. (2025). *Opredelenie soderzhaniya nitratnogo azota v pochve metodom UF-spektrofotometrii* [Determination of nitrate nitrogen content in soil by UV spectrophotometry]. *Plodorodie*, no. 2(143), pp. 9-13.
13. Titova V.I., Semenova E.I. (2021). *Vliyanie mocheviny, modifitsirovannoj sorbentom na osnovе glaukonita, na agrokhimicheskie svoistva seroi lesnoi pochvy* [The effect of urea modified with a sorbent based on glauconite on the agrochemical properties of gray forest soil]. *Agrochemical Bulletin*, no. 3, pp. 35-39.

#### Информация об авторах:

**Завалин Алексей Анатольевич**, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, научный руководитель ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, ORCID: <http://0000-0001-7717-877X>, zavalin.52@mail.ru

**Свирилова Людмила Александровна**, кандидат биологических наук ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5445-1139>, lyudmilaser@mail.ru

**Лапушкин Всеволод Михайлович**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9773-2077>, Lapushkin@rgau-msha.ru  
**Лещинская Каролина Сергеевна**, главный аналитик, Метафакс Кемикалс, Karolina.Leschinskaya@metafrax.ru

#### Information about the authors:

**Alexey A. Zavalin**, academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of agricultural sciences, scientific director of All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7717-877X>, zavalin.52@mail.ru

**Lyudmila A. Sviridova**, candidate of biological sciences, leading researcher of laboratory mineral and biological nitrogen and evaluation of the effectiveness of fertilizers, All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5445-1139>, lyudmilaser@mail.ru

**Vsevolod M. Lapushkin**, candidate of biological sciences, senior researcher in mineral and biological nitrogen and evaluation of fertilizer application efficiency, All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, associate professor of the department of agronomic, biological chemistry and radiology, Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9773-2077>, Lapushkin@rgau-msha.ru

**Karolina S. Leshchinskaya**, chief analyst, Metafrax Chemicals, Karolina.Leschinskaya@metafrax.ru

[zavalin.52@mail.ru](mailto:zavalin.52@mail.ru)

**ПЛОДЫ И ОВОЩИ**  
VII СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ФОРУМ

**VII СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ФОРУМ-ВЫСТАВКА**  
**ПЛОДЫ И ОВОЩИ РОССИИ 2025**

30-31 ОКТЯБРЯ 2025 г. / СОЧИ

Организатор форума

**ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:**

- Новые направления в отрасли садоводства и виноградарства
- Перспективы отрасли плодоводства и виноградарства
- Технологии хранения и предпродажной подготовки фруктов и ягод
- Инфраструктура сбыта плодов и ягод. Как реализовать?
- Переговоры с сетями
- Государственная поддержка развития плодово-ягодной отрасли

По вопросам участия:

+7 (909) 450-36-10  
+7 (960) 476-53-39  
+7 (968) 800-53-39

e-mail: [events@agbz.ru](mailto:events@agbz.ru)  
Регистрация на сайте: [fruitforum.ru](http://fruitforum.ru)

Регистрация на сайте: fruitforum.ru

**АУДИТОРИЯ ФОРУМА**

Предприятия фруктового садоводства, виноградарства и ягодоводства; Компании, производящие удобрения; Предприятия по переработке и хранению плодоовощной продукции; Крестьянские фермерские хозяйства, выращивающие плодово-ягодные культуры открытого грунта; Крупнейшие агропарки и оптово-распределительные центры; Представители крупнейших торговых сетей; Госорганы; Представители профильных ассоциаций и союзов.

Печать: 01/09/2023 10:58:00  
Издательство: Ученые издания  
Издательство: Ученые издания  
Издательство: Ученые издания