
АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

Эффективность минеральных удобрений, модифицированных ингибиторами нитрификации и уреазы, при внесении под яровую пшеницу

Всеволод Михайлович Лапушкин^{1,2✉}, Анастасия Андреевна Лапушкина¹

¹ Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** Lapushkin@rgau-msha.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследования эффективности аммофоски, сульфоаммофоса и карбамида, модифицированных ингибиторами нитрификации (DMPP) и уреазы (NBPT), в посевах яровой пшеницы. Полевые опыты проводились в 2022–2023 гг. на окультуренной дерново-неглубокоподзолистой профильно-глееватой глубокопахотной почве легкосуглинистого гранулометрического состава на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Показано, что применение ингибиторов совместно с аммофоской и карбамидом способствует получению дополнительной прибавки урожайности на уровне 12–14% и увеличению сбора белка на 10–15%. Применение ингибиторов нитрификации и уреазы обеспечивало более высокое содержание минеральных форм азота в почве в течение вегетации и способствовало более эффективному использованию азота удобрений растениями. Коэффициенты использования азота сульфоаммофоса, аммофоски и карбамида под действием ингибитора нитрификации возрастали на 2, 10 и 18% соответственно. Применение ингибитора уреазы совместно с карбамидом увеличивало коэффициент использования азота на 12%. Окупаемость удобрений урожаем зерна под действием ингибиторов возрастала на 1,9–7,1 кг/кг.

Ключевые слова

Аммофоска, сульфоаммофос, карбамид, мочевина, азотные удобрения, ингибитор нитрификации, ингибитор уреазы, яровая пшеница, урожайность, эффективность, вынос, коэффициент использования

Для цитирования

Лапушкин В.М., Лапушкина А.А. Эффективность минеральных удобрений, модифицированных ингибиторами нитрификации и уреазы, при внесении под яровую пшеницу // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. № 1. С. 5–21.

Effectiveness of mineral fertilizers modified by nitrification and urease inhibitors when applied to spring wheat

Vsevolod M. Lapushkin^{1,2}✉, Anastasiya A. Lapushkina¹

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

²All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

✉Corresponding author: lapushkin@rgau-msha.ru

Abstract

The article presents the results of research on the effectiveness of ammophos, sulfoammophos and urea modified with nitrification (DMPP) and urease (NBPT) inhibitors when applied to spring wheat. Field experiments were carried out in 2022–23 on cultivated light loamy soddy-podzolic soil on the territory of the Field Experimental Station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. It has been shown, that the application of inhibitors with ammophoska and urea increases grain yield by 12–14% and increases protein yield by 10–15%. The application of nitrification and urease inhibitors ensured a higher content of mineral forms of nitrogen in the soil during the growing season and more efficient use of fertilizer nitrogen by plants. The nitrogen utilization coefficients of sulfoammophos, ammophoska and urea increased by 2%, 10% and 18%, respectively, under the influence of the nitrification inhibitor. The application of urease inhibitor together with urea increased the nitrogen utilization coefficient by 12%. The payback of fertilizers in grain yield increased by 1.9–7.1 kg/kg under the effect of inhibitors.

Keywords

Ammophoska, sulfoammophos, urea, nitrogen fertilizers, nitrification inhibitor, urease inhibitor, spring wheat, yield, effectiveness, removal, utilization coefficient

For citation

Lapushkin V.M., Lapushkina A.A. Effectiveness of mineral fertilizers modified by nitrification and urease inhibitors when applied to spring wheat. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 5–21.

Введение Introduction

По данным международной ассоциации производителей минеральных удобрений International Fertilizer Association (IFA), наблюдается неуклонный рост применения минеральных удобрений. В 2023 г. спрос превысил 200 млн т в пересчете на действующее вещество. При этом более половины валового объема потребляемых минеральных удобрений занимают азотные, на долю которых приходится ~56% [9, 21, 23].

Несмотря на высокий процент потребления азотных удобрений, проблема баланса азота в земледелии остается актуальной. Причинами их недостаточно высокой эффективности являются существенные потери азота, во многом обусловленные деятельностью почвенной микрофлоры, приводящей: к выделению газообразного аммиака (NH_3) при действии фермента уреазы на мочевину; к окислению аммонийного азота до нитратного ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) и увеличению его подвижности

вследствие нитрификации; к восстановлению нитрата до газообразных соединений азота ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_x \uparrow, \text{N}_2\text{O} \uparrow, \text{N}_2 \uparrow$) при денитрификации. Таким образом, суммарные непроизводительные потери могут составлять более половины внесенного азота. В свою очередь, коэффициент использования азота минеральных удобрений, как правило, не превышает 50% [8, 10]. В связи с этим проблема повышения эффективности минеральных удобрений, и в первую очередь азотных, остается актуальной в настоящее время [14, 23, 27].

Поставленная задача может быть решена различными путями, направленными на сокращение возможных непроизводительных потерь питательных веществ и негативного воздействия на окружающую среду [28, 36].

Повышения эффективности минеральных удобрений можно добиться только в комплексе агротехнологий, применяемых в севообороте в конкретных почвенно-климатических условиях. В первую очередь, это определение оптимальных сроков и способов внесения удобрений, а также совместное применение удобрений и средств химической защиты растений, что позволяет получить дополнительный прирост урожайности на уровне 12–32% [1, 5, 7, 9, 12, 13, 15, 16].

Снизить потери азота минеральных удобрений также можно путем разработки, производства и внедрения новых форм удобрений замедленного и регулируемого действия, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными удобрениями [20, 29, 32]. Существуют различные способы получения азотсодержащих удобрений замедленного действия, обладающих повышенной эффективностью. Одним из самых популярных методов является применение ингибиторов уреазы (NBPT, PPD/PPDA, гидрохинон и др.) и нитрификации (дициандиамид, нитрапирин, DMPP и др.), которые позволяют существенно повысить эффективность удобрений за счет снижения газообразных потерь азота и вымывания нитратов [10, 21, 25, 30, 39].

По данным ряда авторов, снижение эмиссии закиси азота при применении разных форм азотных удобрений модифицированных ингибиторами нитрификации может составлять 11–96% [18, 35, 37, 38]. В исследованиях [17, 26, 31, 33, 34] применение ингибиторов нитрификации (DMPP, нитрапирин) увеличивало вынос азота растениями на 11–44% и обеспечивало прибавку урожайности овощных культур от 6% до 48%, а зерна кукурузы – на 33–62% относительно обычной формы азотного удобрения. Использование карбамида, стабилизированного ингибитором уреазы, позволяет снизить газообразные потери аммиака с 19–22% от внесенного азота до 5–6%, а также увеличить потребление азота сельскохозяйственными культурами на 6–13% [17, 19, 31, 33]. Проведение подобных исследований достаточно актуально для культуры яровой пшеницы [2–4].

Цель исследований: изучить влияние минеральных удобрений, модифицированных ингибиторами нитрификации и уреазы, на структуру, количество урожая и химический состав зерна яровой пшеницы.

Методика исследований **Research method**

Исследования проводили в течение 2022–2023 гг. Изучение эффективности азотсодержащих удобрений, модифицированных ингибиторами уреазы и нитрификации, проводили в условиях мелкоделяночных полевых опытов на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Почва опытного участка – окультуренная дерново-неглубокоподзолистая профильно-глееватая глубоко пахотная легкосуглинистая на моренных валунных суглинках с линзами песка. Агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1.

Агрохимическая характеристика почвы на опытном участке

Table 1

Soil agrochemical characteristics at the experimental plot

Показатель	Ед. изм.	Год			Метод определения
		2022	2023	среднее	
Гумус	%	2,23	2,52	2,38	ГОСТ 26213–2021
pH _{КСЛ}	ед.	5,4	5,9	5,7	ГОСТ 26483–85
Hг	мг-экв/100 г	2,00	1,59	1,80	ГОСТ 26212–2021
S	мг-экв/100 г	12,5	11,8	12,2	ГОСТ 27821–2020
T	мг-экв/100 г	14,5	13,4	14,0	–
V	%	86	87	87	–
N _{щ.г.}	мг/кг	74	103	89	МУ ЦИНАО, 1985
P ₂ O ₅	мг/кг	324	202	263	ГОСТ Р 54650–2011
K ₂ O	мг/кг	166	97	132	ГОСТ Р 54650–2011

Погодные условия в период проведения опытов в годы исследований несколько отличались от среднемноголетних значений (рис. 1). Наиболее сильные отличия наблюдались в 2022 г. Так, в мае 2022 г. среднемесячная температура была ниже среднемноголетнего значения на 3,2 °С, что ниже на 23%. Также в июне 2022 г., во время интенсивного роста растений, наблюдался существенный дефицит влаги, отклонение от среднемноголетних значений составило –37%, что, по-видимому, оказало существенное влияние на формирование урожая.

Схема опыта включала в себя 8 вариантов: 1) РК-фон (контроль); 2) NPK (аммофоска 15:15:15); 3) NPK (аммофоска 15:15:15, модифицированная ингибитором нитрификации); 4) К + NPS (сульфоаммофос 20:20:0); 5) К + NPS (сульфоаммофос 20:20:0, модифицированный ингибитором нитрификации); 6) РК + карбамид; 7) РК + карбамид, модифицированный ингибитором уреазы; 8) РК + карбамид, модифицированный ингибитором нитрификации. Все варианты опыта, кроме контроля, были выровнены по количеству внесенных элементов питания. Доза азота в 2022 г. составляла 6 г/м², в 2023 г. количество внесенного азота было увеличено до 9 г/м².

В варианте № 7 применялся ингибитор уреазы N-(n-бутил) тиофосфорный триамид (NBPT), в варианте № 8 – ингибитор нитрификации 3,4-диметилпиразол-фосфат (DMPP). Дозировка ингибиторов определялась рекомендациями (Регламент № 2003/2003 Европейского парламента и Совета Европейского Союза «Об удобрениях») и составляла 3 и 16 мг/г внесенного амидного азота соответственно. Обработка удобрений ингибиторами производилась непосредственно перед внесением в почву.

В качестве опытной культуры был выбран сорт мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) – Любава. Сорт включен в реестр в 2012 г., регион допуска – 3, оригинатор – ФГБНУ «ФИЦ Немчиновка» [6]. Урожай убирали в фазу восковой спелости и приводили к стандартной влажности и 100%-ной чистоте. Химический анализ растительных образцов проводили по общепринятым методикам: ГОСТ 13496.4–2019; ГОСТ 26657–97; ГОСТ 32250–2013; ГОСТ ISO 12099–2017.

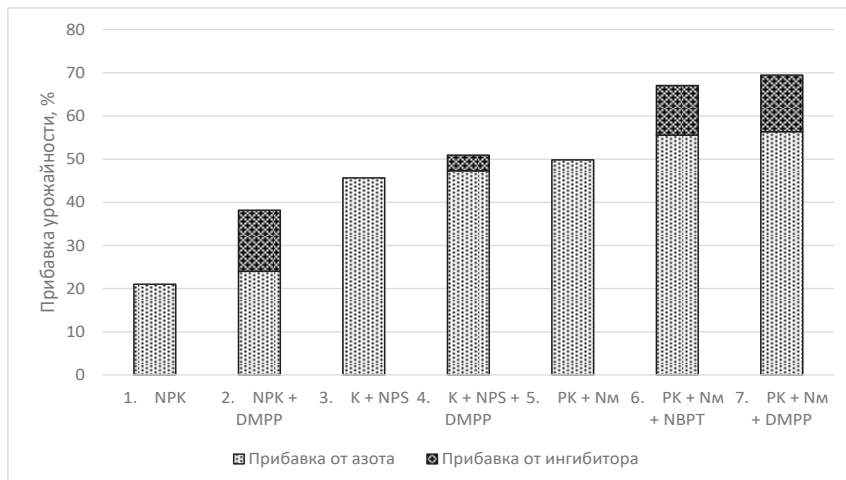


Рис. 1. Погодные условия в период проведения исследований

Figure 1. Weather conditions during the research period

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В фазу кущения, выхода в трубку и колошения-цветения были отобраны растительные образцы в целях учета темпов накопления биомассы и интенсивности поглощения элементов питания (табл. 2). При рассмотрении динамики накопления сухой массы вегетирующих растений следует отметить неоднозначность действия изучаемых удобрений. Так, в период кущения данный показатель у растений, выращиваемых на варианте с применением обычных аммоний-содержащих удобрений (NPK и NPS), был на 7–19% выше по сравнению с аналогичными удобрениями, модифицированными ингибитором нитрификации. Однако совместное применение карбамида и ингибиторов способствовало более интенсивному формированию сухой массы растений, по-видимому, за счет снижения газообразных потерь аммиака.

Начиная с фазы выхода в трубку, и далее в колошение-цветение, более выраженное положительное действие на формирование биомассы растений оказали аммофоска и карбамид, модифицированные ингибиторами. Масса растений в этих вариантах превышала варианты сравнения (без ингибиторов) в среднем на 20%. Применение ингибитора нитрификации совместно с сульфаммофосом не оказало существенного влияния на накопление сухой массы растениями.

Содержание и потребление азота растениями согласуются с результатами учета биомассы растений. Наиболее тесная связь прослеживалась между массой растений и потреблением азота ($r = 0,80$). В фазе кущения обеспеченность растений азотом при использовании ингибиторов была ниже по сравнению с вариантами без ингибиторов, что можно объяснить более высокой доступностью азота обычных удобрений.

Более выраженная разница в динамике потребления азота наблюдалась на более поздних фазах развития растений. Использование азотсодержащих удобрений, модифицированных NBPT и DMPP, способствовало повышению обеспеченности растений азотом, и как следствие – усилению его потребления на VI–IX этапах органогенеза. Так, применение NPK-удобрения совместно с ингибитором нитрификации увеличивало содержание азота в растениях в фазе выхода в трубку на 0,18%. В фазе колошения-цветения обеспеченность азотом была также на 0,06–0,32% выше в вариантах с внесением модифицированных удобрений, что, очевидно, связано с пролонгированным действием изучаемых удобрений.

Результаты растительной диагностики минерального питания

Results of plant diagnostics of mineral nutrition

Вариант	Масса растения, г		Содержание азота	Вынос азота	N-tester
	сырая	сухая	%	мг/раст.	
Фаза кущения					
PK-фон	2,11	0,39	1,74	6	376
NPK	4,10	0,72	3,62	26	464
NPK + DMPP	4,37	0,67	3,19	22	479
K + NPS	3,36	0,63	3,59	23	441
K + NPS + DMPP	3,13	0,51	2,78	14	416
PK + Nм	2,59	0,44	2,02	9	478
PK + Nм + NBPT	5,64	0,70	1,58	11	413
PK + Nм + DMPP	3,33	0,58	1,67	10	406
r*	0,52	0,35	-0,29	-0,15	0,04
Фаза выхода в трубку					
PK-фон	4,58	1,16	1,10	13	387
NPK	6,04	1,56	1,22	19	529
NPK + DMPP	7,41	2,07	1,40	29	530
K + NPS	6,87	1,68	1,48	25	434
K + NPS + DMPP	6,38	1,66	1,50	25	479
PK + Nм	5,90	1,52	1,42	22	448
PK + Nм + NBPT	7,42	1,83	1,40	26	509
PK + Nм + DMPP	6,02	1,58	1,45	23	508
r	0,65	0,56	0,81	0,71	0,45
Фаза колошения-цветения					
PK-фон	4,37	1,51	0,87	13	286
NPK	5,96	2,08	1,77	37	479
NPK + DMPP	7,17	2,49	1,83	46	428
K + NPS	6,36	2,05	1,44	29	406
K + NPS + DMPP	6,04	2,01	1,55	31	411
PK + Nм	5,15	1,77	1,14	20	396
PK + Nм + NBPT	6,57	2,11	1,27	27	426
PK + Nм + DMPP	6,56	2,15	1,46	31	454
r	0,64	0,49	0,17	0,24	0,53

Примечание. r – коэффициент линейной корреляции между показателем и урожайностью яровой пшеницы.

Наиболее тесная корреляционная связь прослеживалась в фазе выхода в трубку между содержанием азота и урожайностью ($r = 0,81$) и между потреблением азота и урожайностью ($r = 0,71$). Применение метода фотометрической диагностики азотного питания показало наилучший результат в фазу колошения-цветения ($r = 0,53$). При этом коэффициент линейной корреляции между результатами химической и фотометрической диагностики составил $r = 0,81$.

В целях оценки обеспеченности растений азотом и особенностей превращения изучаемых удобрений в фазу колошения были отобраны почвенные образцы из слоев почвы 0–20, 20–40 и 40–60 см, в которых определяли содержание минеральных форм азота (табл. 3).

Как показали результаты почвенной диагностики, наиболее тесная корреляционная связь прослеживалась между урожайностью и содержанием минеральных форм азота в слое 0–20 см ($r = 0,75–0,88$). При этом можно говорить, что применение ингибиторов нитрификации и уреазы снижало потери азота удобрений, о чем свидетельствует более высокое содержание минерального азота в почве соответствующих вариантов опыта. Следует отметить, что применение ингибитора нитрификации совместно с сульфоаммофосом в наименьшей степени оказало влияние на содержание минеральных форм азота в почве, и напротив, наиболее высокое содержание минерального, преимущественно аммонийного, азота отмечалось в вариантах с применением модифицированного карбамида.

Урожайность яровой пшеницы по годам исследований значительно различалась, что обуславливалось более высоким плодородием почвы опытного участка и более благоприятными погодными условиями в сезоне 2023 г. (табл. 4). Учет биометрических показателей показал, что величина урожая в большей степени зависела от количества зерен в колосе ($r = 0,91$) и в меньшей степени определялась массой 1000 зерен ($r = 0,52–0,86$).

Таблица 3

Результаты почвенной диагностики минерального питания, мг/кг

Table 3

Results of soil diagnostics of mineral nutrition, mg/kg

Вариант	N-NH ₄			N-NO ₃			Nмин		
	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60	0–20	20–40	40–60
PK-фон	10	11	11	9	10	8	19	22	19
NPК	11	7	7	10	12	10	21	19	17
NPК + DMPP	17	7	6	12	8	7	29	15	14
К + NPS	26	18	17	10	8	7	36	27	23
К + NPS + DMPP	29	16	21	9	8	8	38	25	30
PK + Nm	13	13	20	10	9	10	22	23	30
PK + Nm + NBPT	33	13	17	14	9	9	47	23	26
PK + Nm + DMPP	36	25	20	13	9	9	49	34	29
r*	0,86	0,60	0,63	0,75	–0,54	0,11	0,88	0,51	0,62

*Примечание. r – коэффициент линейной корреляции между показателем и урожайностью яровой пшеницы.

Структура урожая яровой пшеницы

Table 4

Yield structure of spring wheat

Вариант	Масса зерна, г/м ²	Масса соломы, г/м ²	Масса 1000 зерен, г	Длина растения, см	Длина колоса, мм	Масса колоса, г	Число зерен в колосе, шт.	Натура, г/л
PK-фон	212*	253	41,6	74	94	1,75	26,9	741
	327	458	37,6	82	65	0,95	20,2	768
NPK	252	364	42,7	82	103	2,05	29,4	732
	400	613	36,0	83	71	0,92	21,4	757
NPK + DMPP	265	376	42,7	74	103	1,89	28,6	737
	480	620	40,1	88	75	1,05	24,8	767
K + NPS	273	373	42,3	79	104	1,94	31,0	747
	512	642	41,2	91	73	1,23	25,4	775
K + NPS + DMPP	299	344	42,2	81	103	2,12	34,6	743
	515	663	41,1	89	75	1,23	23,4	787
PK + Nm	298	312	42,2	73	103	1,92	32,6	749
	510	620	40,8	89	76	1,24	23,7	813
PK + Nm + NBPT	283	305	41,7	73	101	1,88	33,8	754
	618	721	41,7	96	79	1,55	30,5	812
PK + Nm + DMPP	313	335	44,0	75	105	1,97	34,0	755
	601	691	41,6	92	80	1,56	31,7	815
HCP ₀₅	27	46	Fф<Fт	5	4	Fф<Fт	3,3	11
	55	72	3,4	7	6	0,16	4,6	21

*В числителе – 2022 г., в знаменателе – 2023 г.

Используемые ингибиторы нитрификации и уреазы с различными формами азотсодержащих удобрений обладали разной эффективностью. Так, их совместное применение с карбамидом способствовало увеличению биомассы растений на 11%, с аммофоской – на 7%, с сульфоаммофосом – на 1%. При этом соотношение основной и побочной продукции изменялось в пользу формирования товарной части урожая. Количество зерен в колосе возрастало под действием применения ингибиторов с карбамидом на 14–17%, совместно с аммофоской – на 5%, с сульфоаммофосом – на 3%.

Таким образом, в среднем за два года применение ингибитора нитрификации совместно с сульфоаммофосом (20:20:0) обеспечивало получение дополнительной

прибавки урожая зерна лишь на уровне 4%. Обработка NPK (15:15:15) ингибитором нитрификации повышала урожайность на 14%. Применение ингибиторов уреазы и нитрификации совместно с карбамидом обеспечило прибавку урожая 12 и 13% соответственно (рис. 2).

Применение азотсодержащих удобрений способствовало увеличению содержания белка в зерне на 1,29–2,12% относительно фона (табл. 5). Использование ингибиторов нитрификации и уреазы за счет повышения урожайности, и как следствия – «биологического разбавления», как правило, снижало содержание азотистых веществ в зерне преимущественно за счет увеличения содержания клетчатки на 0,21–0,34%. Однако сбор белка увеличивался на 10–15% при внесении модифицированных аммофоски и карбамида. Применение ингибиторов способствовало увеличению содержания жира на 0,13–0,29%, золы – на 0,07–0,19%.

Расчет показателей агрономической и агрохимической эффективности удобрений показал, что доля зерна в общей надземной массе растений была максимальной при применении карбамида – 46,4–47,1%. Также коэффициент хозяйственной эффективности ($K_{хоз}$) был выше при применении удобрений, модифицированных ингибиторами (табл. 6).

Применение ингибиторов уреазы и нитрификации способствовало снижению удельного выноса азота на 0,18–1,49 кг/т. При этом средний вынос элементов питания (N – 26,4; P_2O_5 – 11,8; K_2O – 18,0 кг/т) несколько отличался от данных литературы, приводимых для яровой пшеницы, при выращивании в Нечерноземной зоне (N – 31,5; P_2O_5 – 10,6; K_2O – 21,0 кг/т), что можно объяснить высокой обеспеченностью почвы подвижным фосфором [1, 8, 10].

Доля выноса азота с товарной частью урожая составляла 74, 79 и 80% соответственно от общего выноса при применении аммофоски, сульфаммофоса и карбамида. Также прослеживается прямая связь между этим показателем и коэффициентом хозяйственной эффективности, и можно говорить о положительном влиянии ингибиторов на эффективность азотсодержащих удобрений. При совместном применении удобрений и ингибиторов доля выноса азота зерном возрастала на 1–3%.

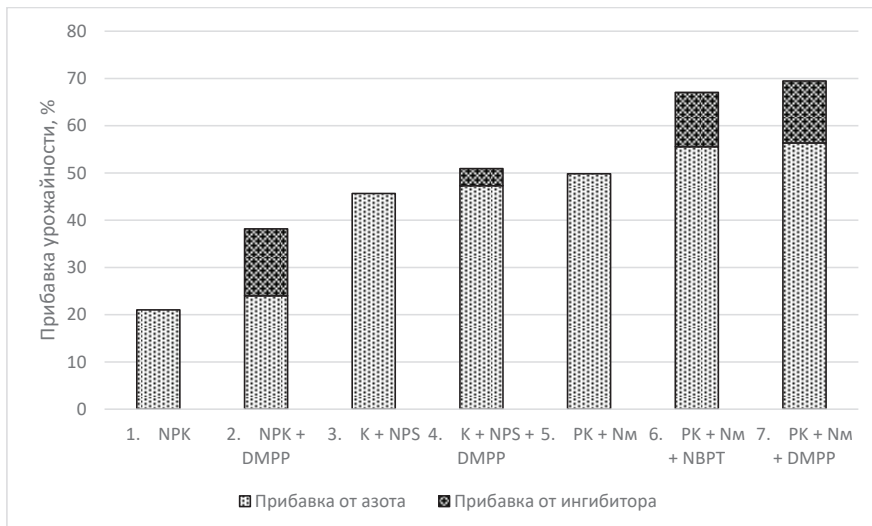


Рис. 2. Прибавка урожайности яровой пшеницы относительно РК-фона в зависимости от применяемых удобрений и ингибиторов нитрификации и уреазы (среднее за 2 года)

Figure 2. Yield increase of spring wheat relative to PK background depending on the fertilizers and nitrification and urease inhibitors used (mean over 2 years)

Таблица 5

Химический состав зерна яровой пшеницы

Table 5

Chemical composition of spring wheat grain

Вариант	Содержание, % сухой массы						Сбор белка, г/м ²
	Белок	Крахмал	Клетчатка	Сахар	Жир	Зола	
PK-фон	12,12	65,40	1,84	3,13	2,07	1,77	32,68
NPK	14,24	63,30	1,94	3,46	1,91	1,90	46,47
NPK + DMPP	13,99	63,51	2,15	3,42	2,04	1,96	52,10
K + NPS	13,74	63,72	1,92	2,92	2,04	1,85	53,95
K + NPS + DMPP	13,41	63,71	2,26	2,77	2,18	1,98	54,58
PK + Nm	14,00	65,28	1,65	3,01	1,82	1,75	56,56
PK + Nm + NBPT	13,83	63,82	1,93	2,10	2,08	1,86	62,31
PK + Nm + DMPP	14,19	63,09	1,93	2,25	2,12	1,94	64,83

Таблица 6

**Вынос элементов питания яровой пшеницей
и агрономическая эффективность минеральных удобрений**

Table 6

Nutrients removal by spring wheat and agronomic efficiency of mineral fertilizers

Вариант	Хозяйственный вынос, г/м ²			Удельный вынос, кг/т			КИУ _N %	K _{хоз} %	Доля выноса азота зерном от общего, %	Окупаемость 1 кг азота удобрения, кг зерна
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
PK-фон	6,32	3,02	4,69	23,46	11,19	17,38	–	43,1	78	–
NPK	9,53	4,06	7,30	29,21	12,45	22,37	43	40,1	74	7,6
NPK + DMPP	10,33	4,30	7,46	27,72	11,54	20,04	53	42,8	77	13,7
K + NPS	10,31	4,53	6,88	26,27	11,55	17,52	53	43,6	79	16,4
K + NPS + DMPP	10,47	5,27	7,21	25,73	12,96	17,72	55	44,7	80	18,3
PK + Nm	10,68	4,66	6,32	26,45	11,53	15,65	58	46,4	80	17,9
PK + Nm + NBPT	11,56	5,27	7,60	25,66	11,70	16,88	70	46,8	82	24,1
PK + Nm + DMPP	12,00	5,15	7,52	26,27	11,27	16,47	76	47,1	83	25,0

Важным показателем эффективности удобрений является коэффициент использования питательных веществ (КИУ). Можно с уверенностью утверждать, что применение ингибитора нитрификации способствовало повышению эффективности использования растениями азота на 10, 2 и 18% соответственно при внесении аммофоски, сульфаммофоса и карбамида. Применение карбамида с ингибитором урезы увеличивало коэффициент использования азота на 12%.

Окупаемость удобрений урожаем зерна под действием ингибиторов возрастала на 1,9–7,1 кг/кг, что свидетельствует также о существенном повышении эффективности применяемых удобрений.

Выводы **Conclusions**

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение ингибиторов нитрификации и урезы способствует повышению обеспеченности почвы минеральными формами азота, и как следствие – увеличению содержания азота в надземных органах растений в течение вегетации. Наибольшей эффективностью обладали модифицированные формы аммофоски и карбамида. Применение ингибиторов совместно с этими удобрениями способствует получению дополнительной прибавки урожайности на уровне 12–14%. Применение ингибиторов урезы и нитрификации способствовало снижению удельного выноса азота на 0,18–1,49 кг/т, а доля выноса азота зерном в общем его потреблении возрастала на 1–3%. Коэффициент использования азота минеральных удобрений под действием ингибитора нитрификации возрастал на 2%, 10% и 18% соответственно при внесении сульфаммофоса, аммофоски и карбамида. Применение ингибитора урезы совместно с карбамидом увеличивало коэффициент использования азота на 12%. Окупаемость удобрений урожаем зерна под действием ингибиторов возрастала на 1,9–7,1 кг/кг.

Список источников

1. Белобусов А.С., Лапушкин В.М., Верниченко И.В. Влияние некорневой подкормки яровой пшеницы сульфатом цинка на усвоение отдельных форм азота при разной обеспеченности почвы подвижным фосфором // *Агрохимический вестник*. 2021. № 6. С. 29-33. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-6-006>
2. Бородий С.А., Виноградова В.С., Макаров С.С. Имитационно-динамическая модель прогноза продуктивности яровой пшеницы сорта Любава с корректировкой на эффективность гуминового комплекса «Экобиосфера Б» // *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2024. № 2 (14). С. 6-20. https://doi.org/10.52025/2712-8679_2024_02_6
3. Виноградова В.С., Бородий С.А., Голоктионов И.И., Каратаева О.Г. Ростовая модель прогноза продуктивности *Triticum aestivum* сорта Любава на фоне предпосевной обработки семян и некорневой подкормки гуминовым комплексом «Экобиосфера Б» // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2024. № 6. С. 90-107. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-6-90-107>
4. Виноградова В.С., Бородий С.А., Макаров С.С. Ростовая модель прогноза продуктивности яровой пшеницы Любава на фоне предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б» // *АгроЭкоИнфо*. 2024. № 2. URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/2/st_207.pdf
5. Власенко Н.Г., Тепляков Б.И., Теплякова О.И. Эффективность агрохимикатов при возделывании яровой пшеницы // *Защита и карантин растений*. 2004. № 9. С. 47-48. EDN: PBLERB.

6. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорты растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 631 с.
7. Захаренко В.А., Груздев Г.С., Воеводин А.В. и др. Экономические пороги вредоносности сорных растений в посевах основных сельскохозяйственных культур: Рекомендации. М.: Агропромиздат, 1989. 25 с.
8. *Изотопы*: свойства, получение, применение. Т. 2 / под ред. В.Ю. Баранова. М.: Физматлит, 2005. 728 с.
9. Лапушкин В.М., Муравьева О.А., Лапушкина А.А., Волкова М.А. Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на эффективность азотных удобрений и формирование элементов структуры урожая яровой пшеницы // *Плодородие*. 2022. № 3 (126). С. 6-12. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.02>
10. Лапушкин В.М., Волкова М.А., Лапушкина А.А. Использование яровой пшеницей азота капсулированной мочевины // *Плодородие*. 2023. № 6 (135). С. 15-19. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.135.04>
11. Лапушкин В.М., Нестеренко В.А. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором // *Плодородие*. 2019. № 3 (108). С. 19-21. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.06>
12. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / Под. ред. А.Л. Иванова, Л.М. Державина. М.: Типография Россельхозакадемии, 2008. 392 с.
13. Немченко В.В., Рыбина Л.Д. Эффективность систематического применения гербицидов и азотных удобрений при выращивании яровой пшеницы // *Агрохимия*. 2007. № 3. С. 41-46. EDN: IAAPPV.
14. Малявин А.С., Миносьянц С.В., Аксенчик К.В., Лапушкин В.М. Производство минеральных удобрений // *Энциклопедия технологий 2.0: Химический комплекс: Монография*. М., СПб.: Центр экологической промышленной политики, 2022. С. 11-88. EDN: GOVKBI.
15. Рухович О.В. Географическая сеть опытов с удобрениями – основа эффективного управления природно-ресурсным потенциалом агроэкосистем // *Плодородие почв России: состояние и возможности: Сборник статей (к 100-летию со дня рождения Т.Н. Кулаковской)*. М.: Всероссийский НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2019. С. 99-103. EDN: EHYRXU.
16. Шарков И.Н., Иодко Л.Н. Эффективность минеральных удобрений при применении средств защиты растений // *Агрохимический вестник*. 2009. № 6. С. 12-13. EDN: LLZYXP.
17. Abalos D., Jeffery S., Sanz-Cobena A., et al. Meta-analysis of the Effect of Urease and Nitrification Inhibitors on Crop Productivity and Nitrogen Use Efficiency. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014;189:136-144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>
18. Akiyama H., Yan X.Y., Yagi K. Evaluation of Effectiveness of Enhanced-Efficiency Fertilizers as Mitigation Options for N₂O and NO Emissions from Agricultural Soils: Meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 2010;16:1837-1846. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02031.x>
19. Basten M., Brynildsen P., Belzen R. Stabilized urea for enhanced nitrogen use efficiency // *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers. International Fertilizer Industry Association*. Frankfurt, Germany, 2005:73-78.
20. Burzaco J.P., Vyn T.J., Smith D.R. Nitrous Oxide Emissions in Midwest US Maize Production Vary Widely with Band-injected N Fertilizer Rates, Timing and Nitrapyrin Presence. *Environmental Research Letters*. 2013;3:035031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035031>

21. Chaopu T., Xiaoyuan Ya., Longlong X., Jingwen H. Improving Nitrogen Safety in China: Nitrogen Flows, Pollution and Control. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2022;9(3):465-474. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2022454>
22. Cross L., Gruère A. Public Summary – World Outlook for Fertilizer Demand, Nitrogen, Phosphates and Potash from 2022 to 2023 // *IFA Strategic Forum*. Washington DC, USA: International Fertilizer Industry Association, 2022:1-13.
23. Dobermann A. *Nitrogen Use Efficiency – State of the Art*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2005:16.
24. IFA Market Intelligence Service. *World Outlook for Fertilizer Demand, Nitrogen, Phosphates and Potash from 2021 to 2022*: Public Summary. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2021:1-6.
25. Fan C., Li B., Xiong Z. Nitrification Inhibitors Mitigated Reactive Gaseous Nitrogen Intensity in Intensive Vegetable Soils from China. *Science of the Total Environment*. 2018;612:480-489. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.159>
26. Frye W.W. Nitrification Inhibition for Nitrogen Efficiency and Environment Protection. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*. Frankfurt, Germany: International Fertilizer Industry Association, 2005:139-145.
27. Grant C. Policy Aspects Related to the Use of Enhanced-efficiency Fertilizers: Viewpoint of the Scientific Community. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*. Frankfurt, Germany: International Fertilizer Industry Association, 2005:148-155.
28. Joly C. Mineral fertilizers: plant nutrient content, formulation and efficiency. In: *Dudal R. Roy R.N. (eds.). Integrated Plant Nutrition Systems*. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 12. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, Italy: 1993:426.
29. Lewu F.B., Volova T., Sabu T., Rakhimol K.R. *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*. London, UK: Academic Press is an Imprint of Elsevier, 2021:22.
30. Li Q., Cui X., Liu X., et al. A New Urease-inhibiting Formulation Decreases Ammonia Volatilization and Improves Maize Nitrogen Utilization in North China Plain. *Scientific Reports*. 2017;7(1):43853. <https://doi.org/10.1038/srep43853>
31. Linqvist B.A., Liu L.J., van Kessel C., van Groenigen K. Enhanced Efficiency Nitrogen Fertilizers for Rice Systems: Meta-analysis of Yield and Nitrogen Uptake. *Field Crop Res*. 2013;154:246-254. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.014>
32. Maximov P.N., Rudmin M.A., Daultova A.B. Glauconite-urea Nanocomposites as Polyfunctional and Environment-friendly Fertilizers. In: *Proceedings of X International Siberian Early Career Geoscientists Conference*. Novosibirsk, Russia: Novosibirsk State University. 2022:175-176. EDN: XUGTSS.
33. Pan B., Lam S.K., Mosier A., et al. Ammonia Volatilization from Synthetic Fertilizers and Its Mitigation Strategies: a Global Synthesis. *Agric. Ecosyst. Environ*. 2016;232:283-289. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.019>
34. Pasda G., Hähndel R., Zerulla W. Effect of Fertilizers with the New Nitrification Inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole Phosphate) on Yield and Quality of Agricultural and Horticultural Crops. *Biology and Fertility of Soils*. 2001;34:85-97. <https://doi.org/10.1007/s003740100381>
35. Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T.L., Fixen P.E. Review of Greenhouse Gas Emissions from Crop Production Systems and Fertilizer Management Effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009;133(3-4):247-266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
36. Shaviv A. Controlled Supply of Fertilizers for Increasing Use Efficiency and Reducing Environmental Damage. In: *Optimization of Plant Nutrition*. Frago M.A.C.

and Van Beusichem M.L. (eds). Dordrecht, Netherlands Kluwer Academic Publ., 1993:651-656.

37. Wang W., Park G., Reeves S., et al. Nitrous Oxide Emission and Fertilizer Nitrogen Efficiency in a Tropical Sugarcane Cropping System applied with Different Formulations of Urea. *Soil Res.* 2016;54:572-584. <https://doi.org/10.1071/SR15314>

38. Wang W.J., Reeves S.H., Salter B., et al. Effects of Urea Formulations, Application Rates and Crop Residue Retention on N₂O Emissions from Sugarcane Fields in Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2016;216:137-146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.035>

39. Yang M., Fang Y., Sun D., Shi Y. Efficiency of Two Nitrification Inhibitors (Dicyandiamide and 3,4-dimethylpyrazolephosphate) on Soil Nitrogen Transformations and Plant Productivity: a Meta-analysis. *Scientific Reports.* 2016;6:22075. <https://doi.org/10.1038/srep22075>

References

1. Belobusov A.S., Lapushkin V.M., Vernichenko I.V. Influence of foliar top-dressing of spring wheat by zinc sulphate on absorption of different forms of nitrogen at different supply of soil by available phosphorous. *Agrochemical Herald.* 2021;6:29-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-6-006>

2. Borodiy S.A., Vinogradova V.S., Makarov S.S. Simulation and dynamic model for forecasting the productivity of spring wheat of Lyubava variety with adjustment for the efficiency of the humic complex “Ecobiosphere B”. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem Zone.* 2024;2:6-20. (In Russ.) https://doi.org/10.52025/2712-8679_2024_02_6

3. Vinogradova V.S., Borodiy S.A., Goloktionov I.I., Karataeva O.G. Growth model for predicting the productivity of Triticum aestivum of Lyubava variety against the background of pre-sowing seed treatment and foliar feeding with the humic complex “Ecobiosphere B”. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 2024;6:90-107. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-6-90-107>

4. Vinogradova V.S., Borodiy S.A., Makarov S.S. Growth model for forecasting the productivity of spring wheat of Lyubava variety against the background of pre-sowing seed treatment with the preparation “Ecobiosphere B”. *AgroEcoInfo.* 2024;2:17. (In Russ.) http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/2/st_207.pdf

5. Vlasenko N.G., Teplyakov B.I., Teplyakova O.I. Efficiency of agrochemicals in spring wheat cultivation. *Plant Protection and Quarantine.* 2004;9:47-48. (In Russ.)

6. *State register of selection achievements approved for use. Volume 1. Plant varieties.* Moscow, Russia: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2023:631. (In Russ.)

7. Zakharenko V.A., Gruzdev G.S., Voevodin A.V. et al. *Economic thresholds of harmfulness of weeds in crops of main agricultural crops: recommendations.* Moscow, USSR: Agropromizdat, 1989:25. (In Russ.)

8. *Isotopes: properties, production, application. Part 2.* Ed. by V.Yu. Baranov. Moscow, Russia: FIZMATLIT, 2005:728. (In Russ.)

9. Lapushkin V.M., Muravyeva O.A., Lapushkina A.A., Volkova M.A. Influence of the supply of soil with mobile phosphorus on the efficiency of nitrogen fertilizers in growing spring wheat. *Plodorodie.* 2022;3(126):6-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.02>

10. Lapushkin V.M., Volkova M.A., Lapushkina A.A. Use of nitrogen encapsulated urea by spring wheat. *Plodorodie.* 2023;6(135):15-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.135.04>

11. Lapushkin V.M., Nesterenko V.A. The formation of yield and grain quality of spring wheat depending on doses of nitrogen fertilizers and supply of soil phosphorus. *Plodorodie*. 2019;3(108):19-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.06>
12. *Methodological guidelines for the design of fertilizer application in adaptive landscape farming technologies*. Ed. by A.L. Ivanov, L.M. Derzhavin. Moscow, Russia: Tipografiya Rosselkhozakademii, 2008:392. (In Russ.)
13. Nemchenko V.V., Rybina L.D. Efficiency of systematic application of herbicides and nitrogen fertilizers in growing spring wheat. *Agrohimia*. 2007;3:41-46. (In Russ.)
14. Malyavin A.S., Minosyants S.V., Aksenichik K.V., Lapushkin V.M. Production of mineral fertilizers. In: *Encyclopedia of technologies 2.0: Chemical complex*. Moscow St. Petersburg, Russia: NII "Tsentr ekologicheskoy promyshlennoy politiki", 2022:11-88. (In Russ.)
15. Ruxovich O.V. Geographic network of experiments with fertilizers – the basis for effective management of the natural resource potential of agroecosystems. In: *Soil fertility in Russia: state and possibilities: collection of articles (to the 100th anniversary of the birth of T.N. Kulakovskaya)*. Moscow, Russia: All-Russian Scientific and Research Institute of Agrochemistry named by D.N. Pryanishnikov, 2019:99-103. (In Russ.)
16. Sharkov I.N., Iodko L.N. Efficiency of mineral fertilizers when using plant protection products. *Agrochemical Herald*. 2009;6:12-13. (In Russ.)
17. Abalos D., Jeffery S., Sanz-Cobena A., Guardia G. et al. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014;189:136-144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>
18. Akiyama H., Yan X.Y., Yagi K. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 2010;16:1837-1846. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02031.x>
19. Basten M., Brynildsen P., Belzen R. Stabilized urea for enhanced nitrogen use efficiency. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers. International Fertilizer Industry Association*. Frankfurt, Germany: 2005:73-78.
20. Burzaco J.P., Vyn T.J., Smith D.R. Nitrous oxide emissions in midwest us maize production vary widely with band-injected n fertilizer rates, timing and nitrpyrin presence. *Environmental research letters*. 2013;3:035031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035031>
21. Chaopu T, Xiaoyuan Ya, Longlong X, Jingwen H. Improving nitrogen safety in china: nitrogen flows, pollution and control. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2022;9(3):465-474. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2022454>
22. Cross L., Gruère A. Public Summary – World Outlook for Fertilizer Demand, Nitrogen, Phosphates and Potash from 2022 to 2023. *IFA Strategic Forum*. Washington DC, USA: International Fertilizer Industry Association, 2022:1-13.
23. Dobermann A. *Nitrogen use efficiency – state of the art*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2005:16.
24. *IFA Market Intelligence Service. World Outlook for Fertilizer Demand, Nitrogen, Phosphates and Potash from 2021 to 2022: Public Summary*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2021:1-6.
25. Fan C., Li B., Xiong Z. Nitrification inhibitors mitigated reactive gaseous nitrogen intensity in intensive vegetable soils from China. *Science of the Total Environment*. 2018;612:480-489. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.159>
26. Frye W.W. Nitrification inhibition for nitrogen efficiency and environment protection. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*. Frankfurt, Germany: International Fertilizer Industry Association, 2005:139-145.

27. Grant C. Policy aspects related to the use of enhanced-efficiency fertilizers: Viewpoint of the scientific community. *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*. Frankfurt, Germany: International Fertilizer Industry Association, 2005:148-155.
28. Joly C. Mineral fertilizers: plant nutrient content, formulation and efficiency. In: *Integrated Plant Nutrition Systems*. Dudal R. and Roy R.N. (eds). *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 12*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, Italy: 1993:426.
29. Lewu F.B., Volova T., Sabu T., Rakhimol K.R. *Controlled release fertilizers for sustainable agriculture*. London, UK: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2021:22.
30. Li Q., Cui X., Liu X., Roelcke M. et al. A new urease-inhibiting formulation decreases ammonia volatilization and improves maize nitrogen utilization in North China Plain. *Scientific Reports*. 2017;7(1):43853. <https://doi.org/10.1038/srep43853>
31. Linquist B.A., Liu L.J., van Kessel C., van Groenigen K. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crop Res*. 2013;154:246-254. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.014>
32. Maximov P.N., Rudmin M.A., Dauletova A.B. Glauconite-urea nanocomposites as polyfunctional and environment-friendly fertilizers. In: *Proceedings of X International Siberian early career geoscientists conference*. Novosibirsk, Russia: Novosibirsk State University, 2022:175-176.
33. Pan B., Lam S.K., Mosier A., Luo Y. et al. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. *Agric. Ecosyst. Environ*. 2016;232:283-289. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.019>
34. Pasda G., Hähndel R., Zerulla W. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biology and Fertility of Soils*. 2001;34:85-97. <https://doi.org/10.1007/s003740100381>
35. Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T.L., Fixen P.E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2009;133(3-4):247-266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
36. Shaviv A. Controlled supply of fertilizers for increasing use efficiency and reducing environmental damage. In: *Optimization of Plant Nutrition*. Frago M.A.C. and Van Beusichem M.L. (eds). Dordrecht, Netherlands: Kluwer academic publisher, 1993:651-656.
37. Wang W., Park G., Reeves S., Zahmel M. et al. Nitrous Oxide emission and fertilizer nitrogen efficiency in a tropical sugarcane cropping system applied with different formulations of urea. *Soil Res*. 2016;54:572-584. <https://doi.org/10.1071/SR15314>
38. Wang W.J., Reeves S.H., Salter B., Moody P.W. et al. Effects of urea formulations, application rates and crop residue retention on N₂O emissions from sugarcane fields in Australia. *Agric. Ecosyst. Environ*. 2016;216:137-146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.035>
39. Yang M., Fang Y., Sun D., Shi Y. Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3,4-dimethylpyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: a meta-analysis. *Scientific Reports*. 2016;6:22075. <https://doi.org/10.1038/srep22075>

Сведения об авторах

Всеволод Михайлович Лапушкин, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»; старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9773-2077>

Анастасия Андреевна Лапушкина, кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: alapushkina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3541-7300>

Information about the authors

Vsevolod M. Lapushkin, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; Senior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov; e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9773-2077>

Anastasiya A. Lapushkina, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: alapushkina@rgau-msha.ru. <https://orcid.org/0000-0003-3541-7300>