
АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

**Оценка эффективности новых форм пролонгированных удобрений
на урожай и качество зерна яровой пшеницы
в условиях Нечерноземной зоны России**

Федор Гаптулаевич Игралиев[✉], Сергей Порфирьевич Торшин

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

[✉]Автор, ответственный за переписку: igralieff@gmail.com

Аннотация

В работе представлены результаты изучения эффективности аммофоски, капсулированной монокальцийфосфатом ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) различной толщины, на урожай и качество мягкой яровой пшеницы сорта Любава в агроклиматических условиях Нечерноземной зоны России. Удобрения, разработанные НИУИФ имени Я.В. Самойлова, способствуют уменьшению потерь азота удобрений вследствие замедленного высвобождения действующего вещества, за счет чего улучшается азотное питание культурных растений. Заложены микрополевые опыты в 2022 и 2023 гг. на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Основными качественными показателями оценки служили урожайность зерна, масса 1000 зерен, содержание сырого протеина в зерне и основных элементов питания в растении, а также их хозяйственный вынос с побочной и основной продукцией. Полученные данные подтверждают, что использование удобрений с контролируемым высвобождением азота, покрытых монокальцийфосфатом толщиной 50 мкм и 100 мкм, способствуют повышению урожайности опытной культуры на 8–18%, сбора сырого протеина – на 8–16%, коэффициентов использования азота удобрений – на 5–17%. Наибольшее положительное влияние достигалось при внесении аммофоски с толщиной капсулы 100 мкм. Улучшение азотного питания растений за счет применения капсулированных удобрений дополнительно сравнивалось с действием ингибитора нитрификации DMPP (3,4-диметилпиразолфосфат).

Ключевые слова

Мягкая яровая пшеница, дерново-подзолистая почва, удобрения с пролонгированным действием, монокальцийфосфат, аммофоска, ингибитор нитрификации DMPP

Благодарности

Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»

Для цитирования

Игралиев Ф.Г., Торшин С.П. Оценка эффективности новых форм пролонгированных удобрений на урожай и качество зерна яровой пшеницы в условиях Нечерноземной зоны России // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 2. С. 44–56.

Assessment of the effect of new forms of prolonged fertilizers on the yield and grain quality of spring wheat in the Non-chernozem zone of Russia

Fedor G. Igraliev✉, Sergey P. Torshin

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

✉Corresponding author: igralieff@gmail.com

Abstract

The article presents the results of studying the effect of ammophoska encapsulated with monocalcium phosphate ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) of different thickness on the yield and quality of soft spring wheat of the Lubava variety in the conditions of the Non-chernozem zone of Russia. The fertilizers developed by the National Research Institute of Agricultural Sciences named after Yu.V. Samoilov help to reduce nitrogen losses of fertilizers due to delayed release of the active substance, thus improving the nitrogen nutrition of cultivated plants. The microfield experiments were conducted in 2022 and 2023 at the Experimental Station of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy on sod-podzolic medium loamy soil. The main qualitative assessment indicators were grain yield, weight of 1000 grains, the content of crude protein in the grain and the main nutrients in the plant, as well as their yield removal with by-products and main products. The data obtained confirm that the use of fertilizers with controlled nitrogen release coated with monocalcium phosphate with a thickness of 50 and 100 microns, increased the yield of the experimental crop by 8–18% the crude protein yield by 8–16%, and the nitrogen utilization coefficient in fertilizers by 5–17%. The greatest positive effect was achieved when ammophoska was applied with a capsule thickness of 100 microns. In addition, the improvement of plant nitrogen nutrition by the use of encapsulated fertilizers was compared with the effect of the nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate).

Keywords

Soft spring wheat, sod-podzolic soil, prolonged fertilizers, monocalcium phosphate, ammophoska, nitrification inhibitor DMPP

Acknowledgments

The work was carried out using funds from the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program “Priority 2030”.

For citation

Igraliev F.G., Torshin S.P. Assessment of the effect of new forms of prolonged fertilizers on the yield and grain quality of spring wheat in the Non-chernozem zone of Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 2. P. 44–56.

Введение Introduction

В связи с восстановлением почвенных ресурсов и повышением урожайности культурных растений, связанных с активным развитием сельского хозяйства

Российской Федерации (РФ), неизбежно возрастает потребность в применении повышенных доз удобрений [5–8, 13, 18–20] и эффективном их использовании, что ведет к повышенной антропогенной нагрузке на окружающую среду. Остро эта проблема касается азотных удобрений, так как во многих почвенно-климатических зонах нашей страны этот элемент находится в первом минимуме и его внесение способствует наибольшей прибавке урожая [4, 12]. В почве минеральный азот удобрений является крайне мобильным элементом, и его потери из пахотного слоя в среднем составляют 20%, что влечет за собой не только экономический ущерб, но и негативные экологические последствия [3].

В настоящее время для сохранения азота удобрений используют ряд приемов – таких, как дробное внесение удобрений, использование ингибиторов трансформации подвижных форм азота, а также применение удобрений замедленного действия [4, 9]. Все эти агроприемы доказали свою эффективность и продолжают совершенствоваться, однако на текущий момент в РФ мало распространено применение пролонгированных удобрений в связи с их низкой экономической эффективностью. Для решения данной проблемы НИ-УИФ имени Я.В. Самойлова была разработана аммофоска, покрытая тонким слоем монокальцийфосфата ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$), постепенное растворение которого в почве сдерживает окисление аммонийного азота и способствует более сбалансированному обеспечению растений азотом в течение всего вегетационного периода [11, 17].

В отношении мягкой яровой пшеницы [1, 2] целесообразно провести испытания данного удобрения в агроклиматических условиях Нечерноземья России.

Цель исследований: изучить эффективность капсулированных удобрений на урожай и качество мягкой яровой пшеницы в условиях Нечерноземной зоны России.

Методика исследований

Research method

Двухлетний микрополевой опыт был заложен на Полевой опытной станции на базе ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (табл. 1).

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почв на опытном участке

Table 1

Agrochemical characteristics of soils in the experimental plot

№ опыта	Гумус, %	рН _{KCl}	H _r	S	T	V, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг-экв/100 г почвы				мг/кг	
1	1,8	5,2	2,2	11,4	13,6	83,8	68	255
2	2,4	4,9	1,5	14,2	15,7	90,0	172	86

Схема опыта включала в себя 5 вариантов в 5-кратной повторности:

1. РК – фосфорно-калийный фон для определения коэффициентов использования азота удобрений.
2. NPK – контроль, стандартная аммофоска марки 15:15:15.
3. NPK (МКФ 50 мкм) – модифицированная аммофоска с покрытием гранул $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ толщиной 50 мкм (13:18:13).
4. NPK (МКФ 100 мкм) – модифицированная аммофоска с покрытием гранул $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ толщиной 100 мкм (12:23:12).
5. NPK+ инг.нитр. – стандартная аммофоска марки 15:15:15 совместно с применением ингибитора нитрификации DMPP (3,4-диметилпиразолфосфат).

Все варианты были выровнены по содержанию макроэлементов с помощью минеральных солей. Площадь делянок составила 1 м² с шириной междурядий 40 см. Делянки располагались в шахматном порядке. В период вегетации проводилась обработка растений химическими средствами защиты против мучнистой росы и ржавчины пропиконазолом и пенконазолом ручным пульверизатором.

Опытная культура – мягкая яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Любава селекции ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Немчиновка» в 2000-е гг., включенного в Государственный реестр РФ в 2012 г. Сорт среднеспелый, устойчив к полеганию, вегетационный период составляет 70–86 дней, средняя урожайность для III центральной почвенно-климатической зоны – 22 ц/га, масса 1000 зерен – 31–42 г.

После сбора урожая проводился химический анализ по определению общего содержания азота, фосфора и калия в растениях по ГОСТ 13496.4–93, ГОСТ 26657–97, ГОСТ 30504–97 соответственно [14–16].

Математическую обработку результатов опытов производили стандартными методами с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В 2022 г. был заложен первый опыт. В связи с различным содержанием основных элементов питания в удобрениях дозы определялись и уравнивались исходя из нормы внесения азота 6 г/м². В фазу полной спелости 8 августа 2022 г. собрали и высушили урожай. В дальнейшем проведен анализ структуры урожая (табл. 2). Опытные варианты по сравнению с контролем показали свою эффективность, увеличив сбор зерна с делянки на 5–9%, однако достоверную прибавку в 22 г/м² удалось получить только в варианте NPK (МКФ 100 мкм). Остальные урожайные показатели изменялись в пределах ошибки.

В дальнейшем проведен химический анализ общего содержания азота, фосфора и калия в побочной и основной продукции. Применение капсулированных удобрений значительно не повлияло на химический состав зерна (рис. 1), однако увеличение урожайности сопровождалось увеличением потребления азота и фосфора для формирования зерна на 5,7–7,5 и 19–25% соответственно (табл. 3).

Сбор сырого протеина с делянки также достоверно вырос по сравнению с контролем на 6,2–7,7%. Увеличение урожая, выноса азота и фосфора, а также сырого протеина способствовало повышению коэффициентов использования азота

из удобрений на 4,7–11,8%, достигаемого за счет пролонгации азотного питания растений (рис. 2). Применение ингибитора нитрификации DMPP не благоприятствовало достоверному улучшению основных качественных показателей яровой пшеницы, однако сохранялась положительная тенденция поглощения азота из удобрений по сравнению с контрольным вариантом.

Таблица 2

Урожайность и структура урожая яровой пшеницы
(микрополевой опыт, 2022 г.)

Table 2

Yield and structure of spring wheat crop
(microfield experiment, 2022)

№	Вариант	Урожайность, г/м ²		Отношение солома/зерно	Масса 1000 зерен, г
		Солома	Зерно		
1	NPK	364±64	240±11	1,51±0,23	42,7±1,4
2	NPK (МКФ 50 мкм)	367±31	259±20	1,42±0,07	41,3±2,0
3	NPK (МКФ 100 мкм)	404±52	262±16	1,54±0,17	43,0±0,9
4	NPK+инг.нитр.	376±35	252±16	1,49±0,13	42,7±1,4

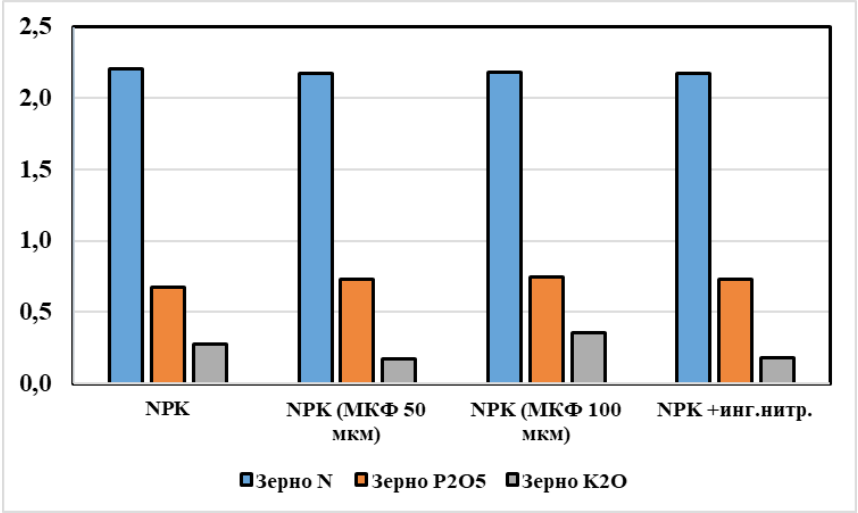


Рис. 1. Содержание N, P₂O₅ и K₂O в зерне яровой пшеницы, %
(микрополевой опыт, 2022 г.)

Figure 1. Content of N, P₂O₅ и K₂O in spring wheat grain, %
(microfield experiment, 2022)

Таблица 3

**Вынос N, P₂O₅ и K₂O урожаем яровой пшеницы, г/м²
(микрополевого опыт, 2022 г.)**

Table 3

**Removal of N, P₂O₅ и K₂O by spring wheat crop, g/m²
(microfield experiment, 2022)**

№	Вариант	Солома			Зерно			Общий		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	NPK	2,0±0,4	0,7±0,1	4,9±0,9	5,3±0,0	1,6±0,0	0,7±0,1	7,3	2,3	5,5
2	NPK (МКФ 50 мкм)	2,0±0,2	0,5±0,0	4,9±0,4	5,6±0,1	1,9±0,0	0,5±0,0	7,6	2,3	5,3
3	NPK (МКФ 100 мкм)	2,2±0,3	0,7±0,1	5,2±0,7	5,7±0,3	2,0±0,1	0,9±0,1	7,9	2,7	6,2
4	NPK+инг. нитр.	2,0±0,2	0,6±0,1	5,0±0,5	5,5±0,4	1,8±0,1	0,5±0,0	7,4	2,5	5,5

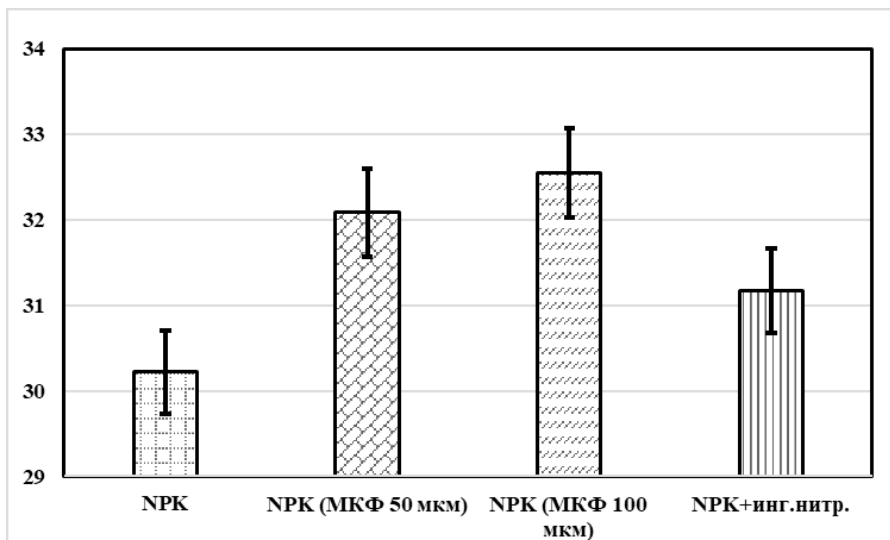


Рис. 2. Сбор сырого протеина с делянки, г/м²
(микрополевого опыт, 2022 г.)

Figure 2. Harvest of crude protein from the plot, g/m²
(microfield experiment, 2022)

На основании результатов первого года испытаний было принято решение в следующем, 2023 г., увеличить дозы азота на делянку до 9 г/м². Это обоснованно тем, что на дерново-подзолистых почвах азот находится в первом минимуме и 6 г/м² этого элемента не перекрывают требования к питанию яровой пшеницы, что ведет к слабому росту и развитию растений и мешает в полной мере оценить эффективность исследуемых удобрений. Дозы фосфора и калия были выровнены с помощью минеральных солей (рис. 3).

В остальном второй год испытаний дублировал прошлогоднее. Сев пшеницы проведен 18 мая 2023 г. Сбор урожая проведен 8 августа 2023 г. в фазу полной спелости, образцы были высушены и подготовлены для дальнейшего анализа. Урожайные данные опытных вариантов были выше контроля (табл. 4).

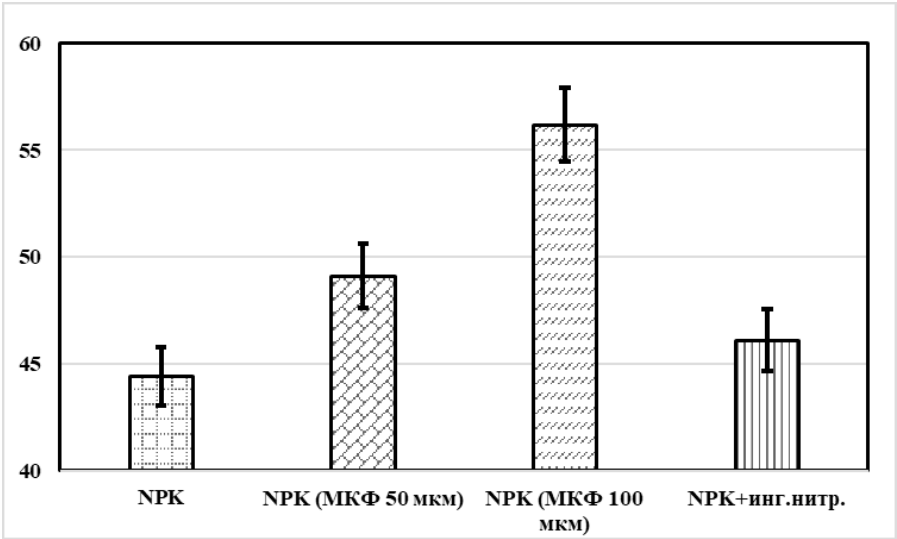


Рис. 3. Коэффициенты использования азота удобрений растениями яровой пшеницы, % (микрополевой опыт, 2022 г.)

Figure 3. Coefficients of nitrogen use of fertilizers by spring wheat plants, % (microfield experiment, 2022)

Таблица 4

**Урожайность и структура урожая яровой пшеницы
(микрополевой опыт, 2023 г.)**

Table 4

**Yield and structure of spring wheat crop
(microfield experiment, 2023)**

№	Вариант	Урожайность, г/м²		Отношение солома/зерно	Масса 1000 зерен, г
		солома	зерно		
1	NPK	613±85	400±44	1,53±0,10	35,9±2,1
2	NPK (МКФ 50 мкм)	636±73	441±51	1,44±0,08	38,6±2,7
3	NPK (МКФ 100 мкм)	665±95	470±51	1,42±0,16	40,2±4,0
4	NPK+инг.нитр.	620±53	480±44	1,29±0,03	40,1±1,7

Сбор зерна увеличился на 10–20% по сравнению с контролем. Также в этом году заметно увеличилась масса 1000 зерен 7,5–12,0%. Достоверную прибавку удалось получить в вариантах NPK (МКФ 100 мкм) и NPK+инг.нитр. Применение NPK (МКФ 50 мкм) положительно повлияло на перечисленные показатели в пределах ошибки. Как и в 2022 г., химический состав зерна по основным элементам питания не изменился в опытных вариантах (рис. 4), а значительное повышение урожайности привело к повышению выноса азота с зерном.

Общее потребление азота выросло на 5,0–12,8% (табл. 5), а сбор сырого протеина с делянки – на 8,8–17,6% (рис. 5). Такой результат объясняется повышением коэффициента использования азота из удобрений в опытных вариантах на 6–17%, достигаемого за счет механизмов пролонгации питательных веществ (рис. 6).

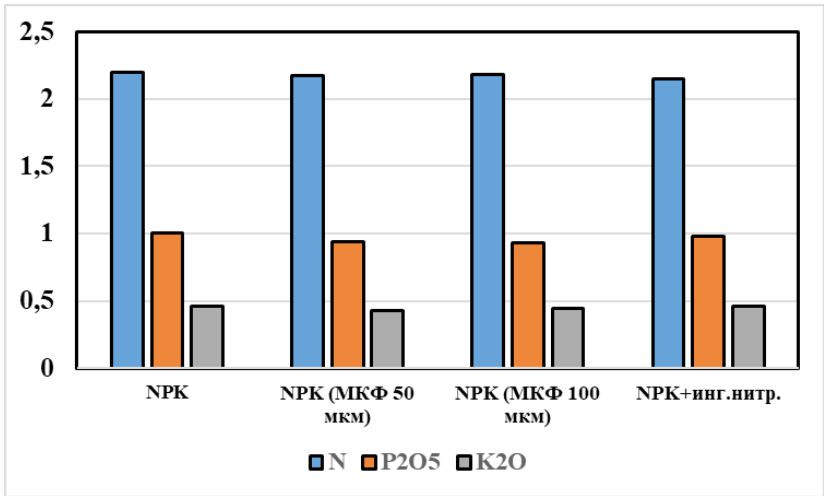


Рис. 4. Содержание N, P₂O₅ и K₂O в зерне яровой пшеницы, % (микрополевой опыт, 2023 г.)

Figure 4. Content of N, P₂O₅ и K₂O in spring wheat grain, % (microfield experiment, 2023)

Таблица 5

Вынос N, P₂O₅ и K₂O урожаем яровой пшеницы, г/м² (микрополевой опыт, 2023 г.)

Table 5

Removal of N, P₂O₅ и K₂O by spring wheat crop, g/m² (microfield experiment, 2023)

№	Вариант	Солома			Зерно			Общий		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	NPK	2,9±0,4	1,8±0,3	7,2±1,0	8,8±1,0	4,0±0,4	1,85±0,3	11,7	5,9	9,1
2	NPK (МКФ 50 МКМ)	2,7±0,3	2,3±0,3	7,8±0,9	9,6±1,1	4,1±0,5	1,88±0,1	12,3	6,4	9,7
3	NPK (МКФ 100 МКМ)	2,8±0,4	2,5±0,4	7,4±1,1	10,2±1,1	4,4±0,5	2,07±0,2	13,0	6,9	9,4
4	NPK+инг. нитр.	2,9±0,2	2,3±0,2	7,2±0,6	10,3±0,9	4,7±0,4	2,22±0,2	13,2	7,0	9,5

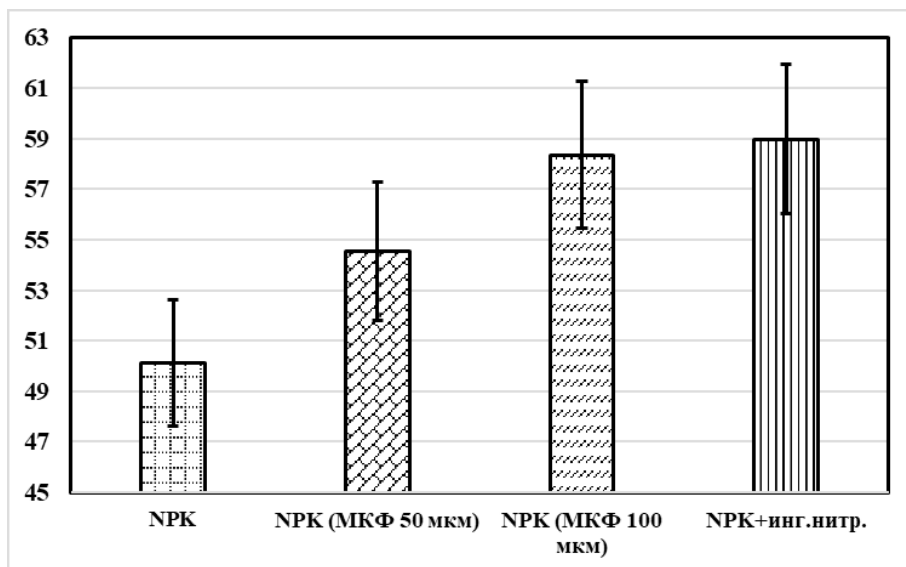


Рис. 5. Сбор сырого протеина с делянки, г/м² (микрополевой опыт, 2023 г.)
Figure 5. Harvest of crude protein from the plot, g/m² (microfield experiment, 2023)

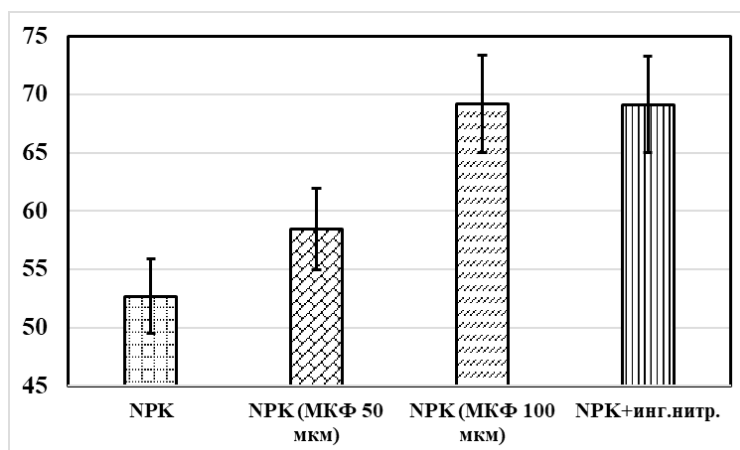


Рис. 6. Коэффициенты использования азота удобрений растениями яровой пшеницы, % (микрополевой опыт, 2023 г.)
Figure 6. Coefficients of nitrogen use of fertilizers by spring wheat plants, % (microfield experiment, 2023)

Выводы Conclusions

Таким образом, в двухлетнем мелкоделяночном опыте с мягкой яровой пшеницей сорта Любава на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в условиях Полевой опытной станции на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева показана эффективность новых капсулированных удобрений, а также применения ингибитора нитрификации DMPP по сравнению с классическими минеральными. Наибольшее позитивное влияние на урожай и качество пшеницы оказало применение

аммофоски, капсулированной монокальцийфосфатом толщиной 100 мкм. В среднем за 2 года в данном варианте наблюдалось увеличение урожайности на 14%, сбора сырого протеина – на 13%, общего выноса азота – на 10%, а коэффициента использования азота – на 14%.

Список источников

1. 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
2. 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 (дата обращения: 21.10.2024)
3. Завалин А.А., Соколов О.А. *Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней*: Монография. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2016. 591 с. EDN: WCWUAD
4. Кидин В.В., Торшин С.П. *Агрохимия*: Учебник. Москва: Проспект, 2024. 608 с. EDN: QHGHNC.
5. Макаров С.С., Виноградова В.С., Смирнова Ю.В. Оценка эффективности нового органоминерального удобрения при выращивании голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) // *Лесохозяйственная информация*. 2022. № 3. С. 105–111. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.09>
6. Макаров С.С., Виноградова В.С., Чудецкий А.И. Эффективность применения различных видов удобрений при выращивании княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 6. С. 45–52. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-6-45-52>
7. Макаров С.С., Упадышев М.Т., Хамитов Р.С. и др. *Перспективы промышленного выращивания и биотехнологические методы размножения лесных ягодных растений*: Монография. Москва: Колос-С, 2023. 152 с. EDN: VGKYGZ
8. Макаров С.С., Чудецкий А.И., Кульчицкий А.Н. и др. Применение комплексных удобрений при адаптации растений голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.), полученных методом микроклонального размножения // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2024. № 5 (109). С. 97–103. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-109-5-97-103>
9. Мухина М.Т., Боровик Р.А. Краткий обзор основных этапов и направлений развития удобрений пролонгированного действия // *Научно-практическая онлайн-конференция «Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур»*. 10 ноября 2020 г. Москва: Плодородие, 2020. С. 101–106. <https://doi.org/10.25680/VNIIA.2019.18.99.120>
10. Новожилов И.С., Виноградова В.С., Макаров С.С. Биологическая активность почвы при использовании органоминеральных и водорастворимых удобрений в агрофитоценозе озимого тритикале // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 1 (55). URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/1/st_113.pdf (дата обращения: 21.10.2024). EDN: ENRFBP
11. Норов А.М., Рыбин Е.А., Медников Д.С. и др. «Зеленые» технологии, разрабатываемые в АО «НИУИФ» // *IV Всероссийская научно-практическая*

конференция «Инновации и «зеленые» технологии». 9 ноября 2023 г. Самара: Самарская областная универсальная научная библиотека, 2024. С. 125–133. <https://doi.org/10.34830/SOUNB-conf.2023.78.52.024>

12. Разгулин В.А., Онищенко Л.М. Экологический аспект применения азотных удобрений // *III Всероссийская научно-практическая конференция «Экология и природопользование: устойчивое развитие сельских территорий»*. 5-9 июня 2023 г. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. С. 181–184. EDN: RCUDYS

13. Российские аграрии увеличили объемы внесения удобрений до 65 килограммов на гектар – министр // *Поле.рф*. 31.01.2024. URL: <https://поле.рф/journal/publication/3698> (дата обращения: 21.10.2024)

14. ГОСТ 13496.4-93. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина

15. ГОСТ 26657-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора

16. ГОСТ 30504-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия

17. Патент № 2776275 С1 (Российская Федерация): C05G 3/40. Способ получения удобрений с замедленным и контролируемым высвобождением питательных веществ / А.М. Норов, Д.А. Пагалешкин, П.С. Федотов и др., 2021.

18. Черятова Ю.С. Актуальные аспекты экологизации сельского хозяйства // *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2022. № 12 (53). С. 57–62. EDN: MBTTOG

19. Adymkhanov L., Makarov S., Belousov I. Adaptive Resource-saving Technologies in Agriculture: The Role of Biotechnologies and Their Impact on Environmental Safety. *BIO Web of Conferences*. 2024;140:04006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414004006>

20. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Khanbabaeva O.E. Prospects for Enhanced Growth and Yield of Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) Using Organomineral Fertilizers for Reclamation of Disturbed Forest Lands in European Part of Russia. *Agronomy*. 2024;14(7):1498. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071498>

References

1. Borodiy S.A., Vinogradova V.S., Makarov S.S. Simulation-dynamic model forecasting the productivity of spring wheat variety Lyubava 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

2. Vinogradova V.S., Borodiy S.A., Makarov S.S. Growth Model for forecasting the productivity of spring wheat variety Lyubava against the background of pre-sowing seed treatment with the preparation “Ecobiosphere B”. *AgroEcoInfo*. 2024;2:17. (In Russ.) https://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/2/st_207.pdf (accessed: October 21, 2024)

3. Zavalin A.A., Sokolov O.A. *Nitrogen fluxes in the agroecosystem: from the ideas of D.N. Pryanishnikov to the present day: a monograph*. Moscow, Russia: All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 2016:591. (In Russ.)

4. Kidin V.V., Torshin S.P. *Agrochemistry: a textbook*. Moscow, Russia: Prospekt, 2024:608. (In Russ.)

5. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Smirnova Yu.V. Evaluation of the Effectiveness of a new Organomineral Fertilizer in the Cultivation of Narrow-Leaved Blueberry

- (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Forestry Information*. 2022;3:105-111. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.09>
6. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Chudetsky A.I. Efficiency of applying different types of fertilizers in Arctic brake (*Rubus arcticus* L.) cultivation. *Bulletin of KSAU*. 2024;6:45-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-6-45-52>
 7. Makarov S.S., Upadyshev M.T., Khamitov R.S., Антонов А.М. et al. *Prospects for industrial cultivation and biotechnological methods of propagation of forest berry plants: a monograph*. Moscow, Russia: Kolos-s, 2023:152. (In Russ.)
 8. Makarov S.S., Chudetsky A.I., Kulchitsky A.N., Musina M.K. et al. Application of complex fertilizers in the adaptation of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) Plants Obtained by Micropropagation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024;5:97-103. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-109-5-97-103>
 9. Mukhina M.T., Borovik R.A. A Brief overview of the main stages and directions of the development of long-acting fertilizers. *Nauchno-prakticheskaya onlayn-konferentsiya 'Perspektivy ispolzovaniya innovatsionnykh form udobreniy, sredstv zashchity i regulyatorov rosta rasteniy v agrotekhnologiyakh selskokhozyaystvennykh kultur'*. November 10, 2020. Moscow, Russia: Plodorodie, 2020:101-106. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/VNIIA.2019.18.99.120>
 10. Novozhilov I.S., Vinogradova V.S., Makarov S.S. Biological activity of soil when using organomineral and water-soluble fertilizers in the agrophytocenosis of winter triticale. *AgroEcoInfo*. 2023;1:17. (In Russ.) URL http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/1/st_113.pdf (accessed: October 21, 2024).
 11. Norov A.M., Rybin E.A., Mednikov D.S., Tsikin M.N. et al. "Green" technologies developed at SrIfi. *IV Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Innovatsii i "zelonye" tekhnologii'*. November 09, 2023. Samara, Russia: Samara Regional Universal Scientific Library, 2024:125-133. (In Russ.) <https://doi.org/10.34830/SOUNB-conf.2023.78.52.024>
 12. Razgulin V.A., Onishchenko L.M. Ecological aspect of application of nitrogen fertilizers. *III Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Ekologiya i prirodopolzovanie: ustoychivoe razvitie selskikh territoriy'*. June 05-09, 2023. Krasnodar, Russia: Kuban State Agrarian University, 2023:181-184. (In Russ.)
 13. *Russian farmers increased the volume of fertilizer application to 65 kilograms per hectare*. (In Russ.) URL: <https://поле.рф/journal/publication/3698> (accessed: October 21, 2024)
 14. GOST 13496.4-93 (Russian Federation). *Fodder, mixed fodder and animal feed raw stuff. Methods of nitrogen and crude protein determination*. Moscow, Russia: Standartinform, 2011. (In Russ.)
 15. GOST 26657-97. *Fodders, mixed fodders, mixed fodder raw materials. Methods for determination of phosphorus content*. Minsk, Belarus: Mezghosudarstvenniy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, 1999. (In Russ.)
 16. GOST 30504-97. *Fodders, mixed fodders and mixed fodder raw materials. Flame photometric method for determination of potassium content*. Minsk, Belarus: Mezghosudarstvenniy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, 1999. (In Russ.)
 17. Patent 2776275 C1 (Russian Federation): C05G 3/40. Method of obtaining fertilizers with delayed and controlled release of nutrients. Norov A.M., Pagaleshkin D.A., Fedotov P.S., Sokolov V.V. et al., 2021. (In Russ.)
 18. Cheryatova Yu.S. Current aspects of greening agriculture. *Biosfernoe khozyaystvo: teoriya i praktika*. 2022;12:57-62. (In Russ.)

19. Adymkhanov L., Makarov S., Belousov I. Adaptive resource-saving technologies in agriculture: the role of biotechnologies and their impact on environmental safety. *BIO Web of Conferences*. 2024;140:04006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414004006>

20. Makarov S.S., Vinogradova V.S., Khanbabaeva O.E., Makarova T.A. et al. Prospects for Enhanced Growth and Yield of Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) Using Organomineral Fertilizers for Reclamation of Disturbed Forest Lands in European Part of Russia. *Agronomy*. 2024;14(7):1498. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071498>

Сведения об авторах

Федор Гаптулаевич Игралиев, ассистент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: igralieff@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-3723-5629>

Сергей Порфирьевич Торшин, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: sptorshin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6306-0252>

Information about the authors

Fedor G. Igraliyev, Assistant at the Department of Agronomy, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: igralieff@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-3723-5629>

Sergey P. Torshin, DSc (Bio), Professor, Professor at the Department of Agronomy, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: sptorshin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6306-0252>