

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Научная статья

УДК 631.9:631.95

doi: 10.55170/19973225_2023_8_3_3

ВЛИЯНИЕ ФОСФОГИПСА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛУКА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ САМАРСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Наталья Ивановна Аканова¹, Наталья Михайловна Троц^{2✉}, Лидия Николаевна Холомьева³, Анатолий Александрович Соловьев⁴

¹ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, Москва, Россия

^{2,4}Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия

³АО «АПАТИТ», Москва, Россия

¹info@vniia-pr.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>

²troz_shi@mail.ru ✉, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>

³info@phosagro.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7127-308X>

⁴anatoliy.solovyev@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-6486-7899>

Цель исследований – разработка приемов повышения продуктивности лука и минимализации содержания тяжелых металлов в продукции за счет внесения фосфогипса на черноземных почвах южной агроклиматической зоны Самарской области. Выявлено, что лук гибрида Коабо F1 в условиях достаточного увлажнения на черноземных почвах формирует достаточно высокую урожайность – 53,0 т/га. За счет внесения ФГ увеличивается содержание серы в почве: при дозе 2 т/га оно возрастает в 1,6 раза и динамично растёт с увеличением дозы ФГ, максимальное повышение (в 5,5 раза) отмечено при внесении 10 т/га – 124,3 мг/кг. При низкой обеспеченности региона подвижной серой и дефиците элемента в почве ФГ можно рассматривать как источник этого элемента. Относительно динамики валового содержания тяжелых металлов установлено, что при внесении ФГ практически не происходит увеличения количества в почве Zn, Ni, Cu, а содержание Cd уменьшается. Количество Pb снижается в 1,7 раза – с 13,0 до 5,0 мг/кг. Валовое содержание всех тяжелых металлов и количество их подвижных форм во всех вариантах не превышает установленных ПДК. Внесение фосфогипса в сочетании с минеральными удобрениями способствует повышению продуктивности лука. Внесение в почву фосфогипса на фоне применения минеральных удобрений обеспечивает прибавку урожая лука гибрида Коаба F1 в пределах 14,0-19,5% (или 26,9-33,9 т/га), наибольший урожай получен в варианте с внесением 8 т/га фосфогипса – 57,5 т/га. Применение фосфогипса способствует увеличению содержания кальция, улучшению структуры почвы, повышению урожайности и качества овощных культур.

Ключевые слова: фосфогипс, плодородие почв, урожайность, черноземы, лук, орошение.

Для цитирования: Аканова Н. И., Троц Н. М., Холомьева Л. Н., Соловьев А. А. Влияние фосфогипса на продуктивность лука при выращивании в условиях степной зоны Самарского Заволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3. С. 3–10. doi: 10.55170/19973225_2023_8_3_3

INFLUENCE OF PHOSPHOGYPSUM ON ONION PRODUCTIVITY WHEN GROWING IN THE STEPPE ZONE OF THE SAMARA ZAVOLZHE

Natalya I. Akanova¹, Natalya M. Trots^{2✉}, Lidia N. Kholomieva³, Anatoly A. Solovyov⁴

¹All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

^{2,4}Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara region, Russia

³JSC «Apatit», Moscow, Russia

¹info@vniia-pr.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>

²troz_shi@mail.ru✉, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>

³info@phosagro.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7127-308X>

⁴anatoliy.solovyev@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-6486-7899>

The purpose of the research is to develop methods for increasing onion productivity and minimizing the content of heavy metals in products by introducing phosphogypsum on chernozem soils of the southern agroclimatic zone of the Samara region. It was revealed that the onion of the Coabo F1 hybrid under conditions of sufficient moisture on chernozem soils produces a sufficiently high yield – 53.0 t/ha. Due to the application of FG, the sulfur content in the soil increases: at a dose of 2 t/ha, it increases 1.6 times and grows dynamically with an increase in the dose of FG, the maximum increase (5.5 times) was noted with the application of 10 t/ha – 124.3 mg/kg. With a low availability of movable sulfur in the region and a shortage of the element in the soil, FG can be considered as a source of this element. Regarding the dynamics of the gross content of heavy metals, it was found that when FG is applied, there is practically no increase in the amount of Zn, Ni, Cu in the soil, and the Cd content decreases. The amount of Pb decreases by 1.7 times – from 13.0 to 5.0 mg/kg. The gross content of all heavy metals and the number of their movable forms in all variants does not exceed the established MPC. The application of phosphogypsum in combination with mineral fertilizers helps to increase the onion productivity. The application of phosphogypsum into the soil against the background of the use of mineral fertilizers provides an increase in the yield of onion of the Coaba F1 hybrid in the range of 14.0-19.5% (or 26.9-33.9 t/ha), the highest yield was obtained in the variant with the application of 8 t/ha of phosphogypsum – 57.5 t/ha. The use of phosphogypsum helps to increase the calcium content, improve the structure of the soil and increase the yield and quality of vegetable crops.

Keywords: phosphogypsum, soil fertility, productivity, chernozems, onion, irrigation.

For citation: Akanova, N. I., Trots, N. M., Kholomieva, L. N. & Solovyov, A. A. (2023). Influence of phosphogypsum on onion productivity when growing in the steppe zone of the Samara Zavolzhie. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 3, 3–10 (in Russ.). doi: 10.55170/19973225_2023_8_3_3

Современный уровень продуктивности лука в основных лукосеющих странах достигает 46,4-51,7 т/га. В России средняя урожайность лука составляет 22,6 т/га. Поэтому актуальной задачей современности является повышение урожайности репчатого лука, прежде всего, на высокоплодородных, орошаемых землях, с целевым уровнем продуктивности не менее 100 т/га и соблюдением принципов ресурсосбережения и экологической безопасности производства. Луку, как и большинству овощных культур, требуется регулярный полив, и в современном овощеводстве открытого грунта невозможно обойтись без использования орошения.

При орошении возможно вымывание почвенных коллоидов, растворимых солей кальция и магния в глубокие горизонты почвы, что ведет к разрушению структуры, уплотнению пахотного горизонта и образованию корки на поверхности почвы. Уменьшается общая и некапиллярная пористость, ухудшается аэрация.

В различных отраслях российской экономики образуется порядка пятидесяти видов кальцийсодержащих отходов, значительная доля которых приходится на неорганическое и органическое производство в химической промышленности. Примером может служить продукт побочного производства фосфорной кислоты – фосфогипс (ФГ), способствующий повышению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур [1-4, 7, 11].

Цель исследований – разработка приемов повышения продуктивности лука и минимализации содержания тяжелых металлов в продукции за счет внесения фосфогипса на черноземных почвах южной агроклиматической зоны Самарской области.

Задачи исследований – изучение влияния возрастающих доз ФГ (2,0, 4,0, 6,0, 8,0 и 10,0 т/га) на формирование продуктивности лука, агрохимические показатели плодородия почвы, особенности динамики валового содержания цинка (Zn), свинца (Pb), никеля (Ni), меди (Cu) и кадмия (Cd) в пахотном горизонте.

Материал и методы исследований. Фосфогипс содержит 80-90% гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 2-3% P_2O_5 , до 15% SiO_2 , до 21% S, 20-22% Ca. Также в его составе содержится: 1,4% Mg, 0,17-0,20% F, 0,1% B, 1% Mn, 0,01% Cu, 0,05% Zn, 0,03% Co, 0,05% Mo [5, 6].

Полевые опыты по исследованию действия ФГ в посадках лука и картофеля были заложены на полях крестьянско-фермерского хозяйства (КФХ), расположенного в Приволжском районе Самарской области.

Анализ метеорологических данных метеостанции «Безенчукская» показал, что сумма положительных температур за вегетационный период (май – июль) составила 2009°C, при норме 1602°C, ГТК равнялся 0,55.

Закладка и проведение полевых опытов проводились согласно методике опытного дела Б. А. Доспехова [10], методическим указаниям по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями [8], методическим требованиям к полевому опыту [9], основам научных исследований в агрономии [10].

Интенсивная технология производства лука велась на площади 100 га и включала следующие мероприятия: осенью готовили почву, производили вспашку, через месяц фрезерование почвы. В конце февраля, по снегу, на опытные делянки внесли ФГ в дозах 2,0, 4,0, 6,0, 8,0 и 10,0 т/га (табл. 1).

Таблица 1

Схема опыта на посадках лука

1	2	3	4	5	6	7
Контроль	Фон ($\text{N}_{100}\text{P}_{100}$)	Фон + ФГ 2 т/га	Фон + ФГ 4 т/га	Фон + ФГ 6 т/га	Фон + ФГ 8 т/га	Фон + ФГ 10 т/га

Посев лука проводили 20 апреля 2022 г. Объект исследований – гибрид Каоба F1. Норма высева семян 1 млн/га, или 5 кг/га. До появления всходов проводили обработку гербицидами. Уборку лука проводили овощным комбайном Grimme. Норма полива за сезон составила 3200 кубометров. Полив осуществлялся за период вегетации растений 21 раз за сезон, дозой 150 кубометров.

В почвенных образцах определяли: рН сол. (ГОСТ 26483-85 «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО»); азот щелочногидролизующий – по Корнфилду [5]; подвижный фосфор и обменный калий по Кирсанову (ГОСТ Р 54650-2011 «Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО»); содержание тяжелых металлов – цинка, свинца, кадмия, никеля, меди – определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Математическая обработка экспериментального материала проводилась по Б. А. Доспехову [10].

Результаты исследований. Своевременному прорастанию и дружным всходам растений лука способствовал равномерный полив. Отличий в скорости появления проростков по вариантам не отмечено. К фазе образования пера прослеживалась разница в развитии растений. Наиболее быстро к этой фазе подошли растения контрольного варианта – на 35 дней после начала формирования луковиц. В фоновом варианте, а также в вариантах с дополнительным внесением 2,0, 4,0 и 6,0 т/га ФГ были сформированы луковицы на 3 дня позже, чем в контрольном варианте. Увеличение нормы ФГ до 8,0 т/га продлило период формирования до 6 дней. Растения в варианте с внесением 8 т/га ФГ отличались более густой надземной массой, перо было длиннее, чем в контрольном варианте в среднем на 3 см.

Особых различий в фазу полегания пера не отмечалось (в контрольном варианте это 55 день после прохождения растениями фазы образования луковиц). Полегание пера в фоновом

варианте и с дозами 2,0, 4,0 и 6,0 т/га ФГ началось через 53 дня, в вариантах с дозами 8,0 и 10 т/га ФГ сократило до 50 дней.

Таким образом, полегание пера перед уборкой у среднеспелого гибрида лука Коаба F1 наступает на 50-55 день после посева. При этом какого-либо влияния минеральных удобрений и ФГ не прослеживается. Достоверное влияние проявляется позже. Внесение в почву ФГ в дозе 8,0 т/га сокращает межфазные периоды развития растений на этапе начала образования лукович и полегания пера и сокращает вегетацию лука на 5 дней.

Отличие наблюдалось в количестве лукович с длиной высушенной шейки более 5 см. Длинная шейка способствует тому, что вредители могут откладывать яйца на основания листьев или в почву рядом с шейкой лука, личинки прогрызают перо лука и выедают его изнутри либо поселяются в основании шейки луковичы, что приводит к её быстрому загниванию. Минимальная оценка приходилась на луковичы с делянок с внесением ФГ 8 т/га. У лукович с опытных делянок наблюдалось сокращение длины шейки, что благоприятно для устойчивости к болезням и вредителям и обеспечивает долгосрочное хранение.

В луковичах, выращенных в условиях эксперимента, содержание сухого вещества колебалось в пределах 9,8-10,7%, максимальное значение было в контрольном варианте, содержание сахара достигало 14,5%, белка – 2,4%, клетчатки – 0,8 г (табл. 2).

Таблица 2

Биохимические показатели лукович

№	Вариант опыта	Содержание					
		Нитраты, мг/кг (ПДК 250 мг/кг)	Сухое вещество, % (норма 10-20%)	Сахар, % (норма 6-12%)	Белок, % (норма 1,5-2,0%)	Клетчатка, г (норма до 1,2 г)	Витамин С, мг/% (норма до 2-10 мг/%)
1	Контроль	55	10,7	13,0	2,0	0,7	9,3
2	Фон (Ф)	79	9,8	14,0	2,3	0,7	10,7
3	Ф + ФГ 2 т/га	75	10,1	14,0	2,1	0,8	10,3
4	Ф + ФГ 4 т/га	77	10,4	14,5	2,4	0,8	10,9
5	Ф + ФГ 6 т/га	101	9,8	14,0	2,3	0,8	10,3
6	Ф + ФГ 8 т/га	96	10,3	14,5	2,3	0,7	10,3
7	Ф + ФГ 10 т/га	100	10,2	14,5	2,4	0,8	10,9

Активизация процессов биосинтеза органических веществ в луке происходила на фоне внесения минеральных удобрений и ФГ, максимальное накопление отмечалось в пределах от 9,3 до 10,9 мг/%, что больше в сравнении контролем в 1,1-1,2 раза. Содержание нитратов колебалось от 77 до 101 мг/кг (при ПДК 250 мг/кг). С учетом приведенных показателей варианты удобрений и дозы ФГ можно считать оптимальными для рекомендаций производству.

Выявлено, что внесение ФГ положительно влияет на реакцию почвенной среды. Эффект рассоления почвы начинает проявляться уже при норме внесения мелиоранта 2 т/га.

Значения pH увеличивались в пахотном горизонте в среднем с 6,0 единиц (на контроле) до 7,2. С увеличением нормы внесения ФГ с 2 до 10,0 т/га показатель достигал 7,1-7,2. Учитывая высокий уровень щелочности поливной воды (pH выше 8,0) внесение ФГ способствовало ее некоторой нейтрализации и стабилизировало pH почвенного раствора в слабощелочном интервале (табл. 3).

Анализ данных по содержанию гумуса в почве выявил влияние мелиоранта на его концентрацию, которая выше в сравнении с контрольным значением. Помимо естественной почвенной пестроты, возможно, внесение ФГ приостанавливает процессы гумификации, и этот показатель будет иметь положительную динамику в последующие годы, когда в результате последствия фосфогипса будет нарастать продуктивность фитоценоза и количество поступающей в почву органической массы.

В первый год действия ФГ оказал существенное влияние на доступность легкогидролизуемого азота почвы для растений, показатель увеличился с 75 мг/кг на контроле до 152 мг/кг при внесении минеральных удобрений и ФГ в дозе 6 т/га. Внесение ФГ оказало влияние также на фосфатный режим почвы, увеличивая содержание подвижного фосфора по мере возрастания нормы внесения мелиоранта. Так, в варианте с применением 6,0 т/га ФГ содержание фосфора повысилось в 1,2 раза, на фоне 2,0 т/га ФГ – в 1,6 раза, 4 и 8 т/га ФГ – в 1,5 раза, при внесении 10 т/га ФГ – в 2,5 раза.

Таблица 3

Агрохимические показатели почв

№	Вариант опыта	рН (КСИ)	Емкость катионного обмена, ммоль/100 г	Гумус, %	Нитраты, мг/100 г	S обм.	Mg обм.	Ca обм.	Na	P ₂ O ₅	N лг	K ₂ O	Плотность почвы, г/см ³
						мг·экв./100 г				мг/кг			
1	Контроль	6,0	28,4	4,9	17	22,4	2,0	20,0	0,05	125	75	123	1,48
2	Фон (N ₁₀₀ P ₁₀₀)	6,5	31,3	6,6	24	36,8	2,1	15,0	0,07	208	126	220	1,34
3	Фон + ФГ 2 т/га	7,1	33,1	6,1	23	54,7	3,1	18,0	0,07	188	147	221	1,32
4	Фон + ФГ 4 т/га	7,2	31,4	4,9	22	62,3	2,1	21,9	0,05	201	138	170	1,32
5	Фон + ФГ 6 т/га	7,1	31,9	5,2	26	83,5	2,4	19,6	0,03	192	152	215	1,31
6	Фон + ФГ 8 т/га	7,1	32,4	5,8	26	107,0	2,1	16,6	0,05	267	146	195	1,30
7	Фон + ФГ 10 т/га	7,1	34,6	4,8	28	124,3	1,9	21,3	0,07	316	138	270	1,30

Содержание обменного калия в почве также возрастало и находилось на максимальном уровне (270 мг/кг почвы) в варианте с внесением 10 т/га ФГ. Очевидно, запасы K₂O были мобилизованы за счет усиления обменных процессов.

По содержанию кальция и магния закономерной динамики не выявлено. Отмечено, что внесение 10 т/га ФГ снижает содержание обменного магния. Максимальное содержание обменного кальция отмечено в варианте с внесением 4 т/га ФГ (табл. 3).

Внесение ФГ в почву значительно увеличивает емкость катионного обмена – от 28,4 ммоль/100 г на контроле до 34,6 ммоль/100 г при дозе 10 т/га.

Важным показателем мониторинга при использовании ФГ является плотность почвы. Подвергаясь действию поливной воды и тяжелой техники, уровень уплотнения достигает 1,48 г/см³. Действие ФГ уже в первый год применения повлияло на разуплотнение почвы – показатель снизился до 1,30 г/см³.

За счет внесения ФГ увеличивается содержание серы в почве: при 2 т/га оно возрастает в 1,6 раза и динамично растет с увеличением дозы ФГ, максимальное повышение (до 124,3 мг/кг – в 5,5 раза) отмечено при внесении 10 т/га ФГ. При низкой обеспеченности региона подвижной серой и дефиците элемента в почве ФГ можно рассматривать как источник этого элемента.

Относительно динамики валового содержания тяжелых металлов (табл. 4), установлено, что при внесении в почву ФГ практически не происходит увеличения в почве Zn, Ni, Cu, а содержание Cd уменьшается. Количество Pb снижается в 1,7 раза (с 13,0 до 5,0 мг/кг). Валовое содержание всех тяжелых металлов и количество их подвижных форм во всех вариантах не превышает установленных ПДК (табл. 5).

Таблица 4

Валовое содержание тяжелых металлов, мг/кг

№	Вариант опыта	Тяжелые металлы, мг/кг								
		Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Mn	Fe	Ni	As
1	Контроль	>0,005	> 1,0	13,0	13,0	9,1	220	3200	12,0	1,03
2	Фон (N ₁₀₀ P ₁₀₀)	>0,005	> 1,0	7,6	17,0	9,3	210	4100	15,0	> 1,0
3	Фон + ФГ 2 т/га	>0,005	> 1,0	9,6	14,0	8,8	210	3300	13,0	> 1,0
4	Фон + ФГ 4 т/га	>0,005	> 1,0	9,6	14,0	8,4	220	3800	13	> 1,0
5	Фон + ФГ 6 т/га	>0,005	> 1,0	8,7	14,0	8,8	210	3100	15,0	> 1,0
6	Фон + ФГ 8 т/га	>0,005	> 1,0	5,0	14,0	8,1	180	3100	12,0	> 1,0
7	Фон + ФГ 10 т/га	>0,005	> 1,0	7,8	17,0	7,5	220	3800	15,0	> 1,0
	ПДК	2,1	2,00	32,0	100,0	14,00	1500,00	ОДК 40000	85	2,0

Внесение 2,0 т/га ФГ на фоне минеральных удобрений обусловило некоторое увеличение, в сравнении с контролем, Ni – на 19,1%, Cu – на 13,2% и Fe – в 1,9 раза. На фоне 4,0 и 6,0 т/га ФГ не установлено накопления тяжелых металлов в почве. Заметный рост валового содержания тяжелых металлов в почве, по отношению к контролю, прослеживается при внесении 6,0 т/га ФГ. По цинку прирост составляет 11,5%, никелю – 37,6%, меди – 47,9%, а кадмию – в 2,7 раза. Однако полученные значения находились значительно ниже ОДК. Таким образом, внесение в почву ФГ способствует снижению значений рН почвенного раствора и ведет к нейтрализации вредного действия солей в верхних слоях почвы.

Таблица 5

Содержание подвижных форм тяжелых металлов, мг/кг

№	Вариант опыта	Тяжелые металлы, мг/кг						
		Cd	Pb	Zn	Cu	Mn	Fe	Ni
1	Контроль	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	5,40	>5,0	> 1,0
2	Фон (N ₁₀₀ P ₁₀₀)	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	13,0	>5,0	> 1,0
3	Фон + ФГ 2 т/га	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	20,0	>5,0	> 1,0
4	Фон + ФГ 4 т/га	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	23,0	>5,0	> 1,0
5	Фон + ФГ 6 т/га	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	24,0	>5,0	> 1,0
6	Фон + ФГ 8 т/га	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	26,0	>5,0	> 1,0
7	Фон + ФГ 10 т/га	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0	23,0	>5,0	> 1,0
	ПДК	0,5	6,0	23,00	3,00	140,0	-	4,0

Выявлено, что лук гибрида Коабо F1, в условиях достаточного увлажнения, на черноземных почвах, формирует достаточно высокую урожайность – на уровне 53,0 т/га (табл. 6).

Таблица 6

Урожайность лука, 2022 г.

№	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Прибавка к контролю	
			т/га	%
1	Контроль	38,0	0	0
2	Фон (N ₁₀₀ P ₁₀₀)	52,0	14,0	26,9
3	Фон+ ФГ 2 т/га	55,5	17,5	31,6
4	Фон+ ФГ 4 т/га	57,3	19,3	33,6
5	Фон+ ФГ 6 т/га	55,0	17,0	30,9
6	Фон+ ФГ 8 т/га	57,5	19,5	33,9
7	Фон+ ФГ 10 т/га	55,8	17,8	31,8
	НСР ₀₅	0,98	-	-

Применение 2,0 т/г ФГ способствовало увеличению урожайности лука с 1 га на 17,5 % – до 31,6 т/га. Повышение нормы до 8,0 т/га обеспечило повышение урожая еще на 2% – до 57,5 т/га, прибавка составила 33,9%. Продуктивность культуры при внесении 4,0 т/га ФГ примерно одинакова в сравнении с вариантом с внесением 8,0 т/га.

Заключение. Внесение в почву ФГ на фоне применения минеральных удобрений достоверно обеспечивает прибавку урожая лука гибрида Коаба F1 на 14,0-19,5%, или 26,9-33,9 т/га, максимальный урожай был получен в варианте с внесением 8,0 т/га ФГ – 57,5 т/га. По результатам исследований выявлено, что внесение в почву ФГ в сочетании с минеральными удобрениями обеспечивает прибавку урожая лука гибрида Коаба F1 в пределах 14,0-19,5% или 26,9-33,9 т. При этом максимальный урожай лука был получен в варианте с внесением 8,0 т/га ФГ и составил 57,5 т/га.

Список источников

1. Колесников С. И., Азнаурьян Д. К. и др. Изучение возможности использования мочевины и фосфогипса в качестве мелиорантов нефтезагрязненных почв в модельном опыте // Агрехимия. 2011. № 9. С. 77–81.
2. Окорков В. В. Использование фосфогипса в земледелии // Владимирский земледелец. 2012. №4(62). С. 12–19.
3. Исайчев В. А., Андреев Н. Н. Влияние препаратов серии МЕГАМИКС на биометрические показатели и урожайность яровой пшеницы // Нива Поволжья. 2022. № 3(63). С. 1005.

4. Костин В. И., Дозоров А. В., Исайчев В. А. К вопросу о стимуляции сельскохозяйственных растений под действием физических и химических факторов при обработке семян // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2(42). С. 67–77.
5. Вильдфлуш И. Р. Агрохимия удобрения и их применение в современной земледелии. Горки : БГСХА, 2019. 405 с.
6. Чекмарев П. А., Обущенко С. В., Троц Н. М. Влияние системного применения минеральных удобрений на содержание гумуса в черноземе обыкновенном // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 4. С. 32–34.
7. Аканова Н. И., Троц Н. М., Троц В. Б. Агроэкологическая эффективность применения калийно-натриевого глинистого удобрения на посевах сельскохозяйственных культур в условиях Среднего Поволжья // Самара АгроВектор. 2021. № 1. С. 32–39. doi: 10.55170/77962_2021_1_1_32.
8. Троц Н. М., Боровкова Н. В., Соловьев А. А. Оценка эффективности фосфогипса в агроценозах ярового ячменя // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 3–11.
9. Кирейчева Л. В., Неведов А. В., Виноградов Д. В. Обоснование использования удобрительно-мелиорирующей смеси на основе торфа и сапропеля для повышения плодородия деградированных почв // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2016. № 3 (31). С. 12–17.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 5 изд., перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
11. Троц В. Б., Троц Н. М., Обущенко С. В. Влияние фосфогипса на урожайность ярового ячменя // Стратегические направления развития агропромышленного комплекса : сборник трудов конференции. Караваяево : Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. С. 32–35.

References

1. Kolesnikov, S. I. & Aznauryan, D. K. et al. (2011). Studying the possibility of using urea and phosphogypsum as ameliorants of oil-contaminated soils in a model experiment. *Agrohimiya (Agrochemistry)*, 9, 77–81 (in Russ.).
2. Okorkov, V. V. (2012). The use of phosphogypsum in agriculture. *Vladimirskii zemledec (Vladimir agricolist)*, 4 (62), 12–19 (in Russ.).
3. Isaichev, V. A. & Andreev, N. N. (2022). Influence of preparations of the MEGAMIX series on biometric indicators and productivity of spring wheat. *Niva Povolzhia (Niva Povolzhya)*, 3(63), 1005. (in Russ.).
4. Kostin, V. I., Dozorov, A. V. & Isaichev, V. A. (2018). On the issue of stimulation of agricultural plants under the influence of physical and chemical factors during seed treatment. *Vestnik Uliianovskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademii (Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy)*, 2(42), 67–77 (in Russ.).
5. Wildflush, I. R. (2019). *Agrochemistry of fertilizers and their use in modern agriculture*. Gorki : Belarusian State Agricultural Academy (in Russ.).
6. Chekmarev, P. A., Obushchenko, S. V., Trots, V. B. & Trots, N. M. (2018). Influence of mineral fertilizers and biologically active substances on the productivity of wheat. *Dostizheniia nauki i tekhniki APK (Achievements of Science and Technology of AICis)*, 8, 28–31 (in Russ.).
7. Akanova, N. I., Trots, N. M. & Trots, V. B. (2021). Agro-ecological efficiency of the use of potassium-sodium clay fertilizer on crops in the conditions of the Middle Volga. *Samara AgroVector (Samara AgroVector)*, 1, 32–39. doi: 10.55170/77962_2021_1_1_32 (in Russ.).
8. Trots, N. M., Borovkova, N. V. & Soloviev, A. A. (2022). Evaluation of the effectiveness of phosphogypsum in agroecosystems of spring barley. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara state agricultural academy)*, 1, 3–11 (in Russ.).
9. Kireycheva, L. V., Nefedov, A. V. & Vinogradov, D. V. (2016). Substantiation of the use of a fertilizer-meliorating mixture based on peat and sapropel to increase the fertility of degraded soils. *Vestnik Riazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva (Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostycheva)*, 3 (31), 12–17 (in Russ.).
10. Dospikhov, B. A. (1985). *Methodology of field experience*. Moscow : Agropromizdat (in Russ.).
11. Trots, V. B., Trots, N. M. & Obushchenko, S. V. (2022). Effect of phosphogypsum on the yield of spring barley // Strategic directions for the development of the agro-industrial complex '22: *proceedings of the conference*. (pp. 32–35). Karavaevo : Kostroma State Agricultural Academy (in Russ.).

Информация об авторах:

Н. И. Аканова – доктор биологических наук; профессор;
 Н. М. Троц – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;
 Л. Н. Холомьева – начальник управления по реализации фосфогипса АО «Апатит»;
 А. А. Соловьев – аспирант.

Information about the authors:

N. I. Akanova – Doctor of Biological Sciences; Professor;

N. M. Trots – Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

L. N. Kholomieva – Head of the Department for the implementation of phosphogypsum of JSC «Apatit»;

A. A. Solovyov – post-graduate student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 6.06.2023; одобрена после рецензирования 27.06.2023; принята к публикации 11.07.2023.

The article was submitted 6.06.2023; approved after reviewing 27.06.2023; accepted for publication 11.07.2023.