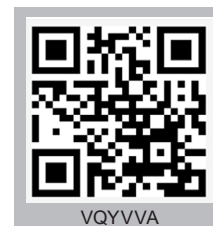




<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-2-63-73>

EDN VQYVVA

УДК 631.82;631.8.022.3



Поступила: 05.02.2025

Доработана: 27.05.2025

Принята: 03.06.2025

Эффективность производства озимой пшеницы на черноземе обыкновенном слабосолонцеватом при использовании фосфогипса нейтрализованного в условиях Центрального Предкавказья

Ю.И. Гречишкина, ✉ А.В. Матвиенко

Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия

✉ stavgeo@rambler.ru

Аннотация

Введение. Ставропольский край, являясь важнейшим аграрным регионом России, сталкивается с проблемой деградации 20 % пахотных земель из-за засоления, что требует разработки экологически безопасных и экономически эффективных методов мелиорации, в частности – научного обоснования применения нейтрализованного фосфогипса для слабосолонцеватых черноземов.

Цель. Определить эффективность влияния фосфогипса нейтрализованного на продуктивность озимой пшеницы на черноземе обыкновенном слабосолонцеватом.

Материалы и методы. Работу выполняли в 2021–2024 гг. в производственном опыте в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края, Россия. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный слабосолонцеватый. В опыте проводился отбор почвенных образцов с целью агрохимического анализа и биологический учет урожайности с формированием образцов сельскохозяйственной продукции для лабораторного анализа в соответствии с методическими указаниями по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве.

Результаты. В ходе исследований было установлено, что среднесуточная температура воздуха в вегетационные периоды озимой пшеницы за 2021–2024 гг. была выше нормы на 2,8 °С. Также период 2023–2024 гг. характеризовался пониженным количеством выпавших осадков. Урожайность озимой пшеницы по вариантам опыта заметно варьировала в период исследования последствий фосфогипса нейтрализованного: в 2022 г. – от 4,51 до 5,24 т/га; в 2023 г. – от 4,18 до 4,55 т/га; в 2024 г. – от 2,34 до 2,67 т/га.

Заключение. Наибольшую среднюю прибавку урожайности озимой пшеницы за трехлетний период последствий фосфогипса нейтрализованного обеспечила доза 10 т/га (8 % к контролю). Наиболее экономически эффективной стала доза мелиоранта 5 т/га – прибыль составила 11 828,3 руб/га, рентабельность – 29,0 %.

Ключевые слова: Фосфогипс нейтрализованный, дозы фосфогипса, чернозем обыкновенный, солонцеватые почвы, урожайность озимой пшеницы, экономические затраты на химическую мелиорацию

Для цитирования: Гречишкина Ю.И., Матвиенко А.В. Эффективность производства озимой пшеницы на черноземе обыкновенном слабосолонцеватом при использовании фосфогипса нейтрализованного в условиях Центрального Предкавказья. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2025;15(2):63–73. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-2-63-73> EDN VQYVVA

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-2-63-73>

EDN VQYVVA

Received: 05.02.2025

Revised: 27.05.2025

Accepted: 03.06.2025

The Efficiency of Winter Wheat Production on Slightly Saline Common Chernozem Using Phosphogypsum Neutralized in the Conditions of the Central Ciscaucasia

Julia I. Grechishkina, ✉ Alexey V. Matvienko

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

✉ stavgeo@rambler.ru

Abstract

Introduction. The Stavropol Krai, a key agricultural region in Russia, faces significant land degradation challenges, with approximately 20 % of its arable land affected by soil salinity. This issue substantially reduces crop yields and threatens regional food security, necessitating the development of sustainable and cost-effective soil reclamation strategies.

Aim. To determine the effectiveness of neutralized phosphogypsum on winter wheat productivity in weakly solonetzic ordinary chernozem.

Materials and methods. The study was conducted from 2021 to 2024 under production conditions in the unstable moisture zone of Stavropol Krai, Russia. The experimental site featured weakly solonetzic ordinary chernozem. Soil samples were collected for agrochemical analysis, and crop yield was recorded with agricultural samples taken for laboratory analysis following methodological guidelines for registration trials of agrochemicals in agriculture.

Results. The study revealed that mean daily air temperature during winter wheat growing seasons (2021–2024) exceeded the norm by 2.8 °C. Moreover, 2023–2024 period was characterized by reduced precipitation. Winter wheat yields varied significantly across treatments during the residual effect period of neutralized phosphogypsum: 2022 – 4.51–5.24 t/ha, 2023 – 4.18–4.55 t/ha, 2024 – 2.34–2.67 t/ha.

Conclusions. The 10 t/ha application rate provided the greatest average yield increase over three years (8 % above control). The 5 t/ha dose proved most economically efficient, demonstrating profit of 11,828.3 RUB/ha and return on investment of 29.0 %.

Keywords: Neutralized phosphogypsum, ordinary chernozem, solonetzic soils, winter wheat yield, winter wheat, economic costs of chemical reclamation

To cite: Grechishkina Y.I., Matvienko A.V. The Efficiency of Winter Wheat Production on Slightly Saline Common Chernozem Using Phosphogypsum Neutralized in the Conditions of the Central Ciscaucasia. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025;15(2):63–73. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-2-63-73> EDN VQYVVA

Введение

Ставропольский край входит в число ключевых регионов России, лидирующих по объемам сельскохозяйственного производства и уровню химизации агропромышленного комплекса. Однако, несмотря на значительные успехи, здесь до сих пор не решена проблема химической мелиорации засоленных почв. Данные почвы приходятся на каждый пятый гектар пашни Ставрополя, что является отрицательным фактором для сельскохозяйственной отрасли региона [1; 2].

Несмотря на то, что черноземы обыкновенные солонцеватые отличаются благоприятными агрохимическими свойствами по основным параметрам плодородия, из-за негативных проявлений солонцеватости их агрономический потенциал слабо реализуем [3]. Данные почвы без проведения мелиоративных мероприятий отличаются пониженной продуктивностью, урожайность зерновых культур на них в среднем снижается на 2–3 ц/га [4].

Одним из самых доступных и эффективных способов химической мелиорации солонцовых почв является использование фосфогипса [5]. Фосфогипс – это крупнотоннажный побочный продукт, образующийся при взаимодействии серной кислоты с фосфатным сырьем при производстве фосфорной кислоты, являющейся основным компонентом многих фосфорсодержащих удобрений [6]. Фосфогипс используется в сельском хозяйстве благодаря своему богатому составу, содержащему кальций, серу, фосфор и микроэлементы. Все это делает его ценным материалом для повышения плодородия почвы, улучшения урожайности сельскохозяйственных культур и восстановления деградированных земель [7–9]. Так, использование фосфогипса на черноземе выщелоченном достаточно эффективно: он положительно влияет на питательный режим и агрофизические свойства почвы. В частности, в пахотном слое повышается содержание физической глины и снижается плотность [10]. Влияние мелиоранта на продуктивность озимой пшеницы хорошо описана на самых разных подтипах почв [11–14], однако в ходе анализа научных источников данных по эффективности фосфогипса на черноземе обыкновенном слабосолонцеватом мы не обнаружили.

Применение фосфогипса на солонцовых почвах обладает пролонгированным действием. Даже при относительно небольших дозах мелиоранта благоприятный эффект от его внесения фиксируют на 3–4 год после внесения [15].

Вопрос утилизации фосфогипса является важным и с экологической точки зрения. Его хранение в больших открытых отвалах представляет угрозу для окружающей среды, в том числе существенен риск загрязнения воды, почвы и атмосферы [16; 17]. В случае сухого складирования без нейтрализации в среднем 0,1 % фтора от общего его количества в сухом фосфогипсе выделяется в газовую фазу [18].

Отдельный интерес представляет исследование эффективности фосфогипса нейтрализованного, который получают в ходе процесса нейтрализации физиологически кислого фосфогипса. После процедуры нейтрализации водородный показатель мелиоранта повышается с $pH = 1,5–3,0$ до $pH = 5,0–7,0$, и токсиканты переходят менее доступные формы соединений и/или полностью выводятся из состава фосфогипса [19]. На подобной обработке фосфогипса перед использованием настаивают и зарубежные исследователи для снижения потенциальных экологических и медицинских рисков, связанных с радиацией и тяжелыми металлами [20].

Целью статьи является определение эффективности влияния фосфогипса нейтрализованного на продуктивность и экономическую эффективность возделывания озимой пшеницы на черноземе обыкновенном слабосолонцеватом.

Материалы и методы

Материалы

В качестве объектов исследования выступили фосфогипс нейтрализованный (ФГн) и растения озимой пшеницы.

В опыте был применен фосфогипс нейтрализованный (ФГн) производства АО «Минерально-химическая компания «ЕвроХим», г. Белорецк, Россия. Химический анализ мелиоранта установил следующие данные: содержание серы (S) – 17 %, содержание кальция (Ca) – 21,3 %, содержание фосфора (P_2O_5) – 1,2 %, массовая доля воды – 20 %, показатель активности водородных ионов 1 % суспензии – 6,0 ед.

На опытных делянках возделывалась озимая пшеница сорта Адель. Сорт выведен ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко», в реестр допущенных к возделыванию на территории Северо-Кавказского региона включен в 2014 г. Сорт среднерослый, с повышенной устойчивостью к полеганию. Качество зерна позволило внести его в список «ценных». Морозоустойчивость – средняя, засухоустойчивость – высокая. Средняя урожайность в Северо-Кавказском регионе Российской Федерации составляет 4,16 т/га.

Методы

В качестве методологической основы для проведения полевых учетов и наблюдений использованы рекомендации по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве (2018).

В опыте проводился отбор почвенных образцов с целью агрохимического и агроэкологического анализа и биологический учет урожайности с формированием образцов сельскохозяйственной продукции для лабораторного анализа в соответствии с руководством по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве (2018).

В почвенных образцах определяли: pH по ГОСТ 17.5.4.01–84, содержание подвижных фосфора и калия по ГОСТ 26205–91, органического вещества по ГОСТ 26213–2021, обменных кальция и магния по ГОСТ 26487–85, обменного натрия по ГОСТ 26950–86.

Биологический учет урожайности озимой пшеницы осуществляли с каждой делянки. Расчет экономической эффективности изучаемых препаратов производился по технологическим картам с использованием действующих нормативных затрат и цен.

Процедура исследования

Работы выполнены в 2020–2024 гг. на опытном участке, расположенном на территории ИП Глава К(Ф)Х Сабынин Г. К. Андроповского муниципального округа Ставропольского края. Опыт однофакторный, с систематическим размещением делянок. Ширина делянки – 20 м, длина – 200 м, площадь – 4000 м². Повторность опыта – трехкратная.

Работы по закладке и проведению полевого опыта были начаты в 2020 г. с агрохимического обследования участка, химического анализа фосфогипса и составления схемы опыта. С помощью метода по порогу коагуляции высокодисперсных частиц была определена доза фосфогипса нейтрализованного (10 т/га), которая должна оказать оптимальный мелиорирующий эффект. Схема опыта содержит варианты: без внесения мелиоранта (контроль); фосфогипс нейтрализованный, 5 т/га; фосфогипс нейтрализованный, 10 т/га; фосфогипс нейтрализованный, 15 т/га; фосфогипс нейтрализованный, 20 т/га.

Мелиорант был внесен в 2021 г. с помощью трактора New Holland 8040 с разбрасывателем UMEGA PI 20 по чистому пару. Затем проведено лущение и перемешивание мелиоранта с помощью дисковой бороны Rubin. Заделка в почву – с помощью плуга KVERNELAND на глубину 25 см.

Минеральный фон (хозяйственный) ($N_{46}P_{52}K_{30}$) опыта соответствует технологии, принятой в хозяйстве, и включает внесение под основную обработку почвы аммофоса $N_{12}P_{52}$ и калия хлористого K_{30} , а также весеннюю азотную подкормку аммиачной селитрой в дозировке N_{34} . Внесение удобрений осуществлено разбрасывателем минеральных удобрений AMAZONE в сочетании с трактором New Holland 5670.

Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным слабосолонцеватым глубокосильносолончаковым малогумусным среднемощным. Агрохимический анализ почвенных образцов пахотного слоя почвы (0–20 см) опытного участка выявил: содержание органического вещества – 5,1 % (среднее), содержание подвижного фосфора – 32 мг/кг (повышенное), содержание подвижного калия – 423 мг/кг (высокое), реакция pH водной суспензии – 7,5 ед. (нейтральная), содержание обменного кальция – 21,2 ммоль/100 г почвы, содержание обменного магния – 11,8 ммоль/100 г почвы, содержание обменного натрия – 0,95 ммоль/100 г почвы.

Наблюдения на опыте проведены в период 2021–2024 гг. Три года подряд возделываемой культурой была озимая пшеница сорта Адель, предшественником был чистый пар. Сев культуры осуществлялся в конце октября – первых числах ноября. Сроки оптимальные для зоны возделывания. Для сева использован трактор New Holland 8040 с сеялкой Amazone DMC 9000. Норма высева – 220 кг/га, или 5 млн всхожих семян на га.

Для защиты посевов от болезней и вредителей использовали гербицид Ирбис в дозе 0,8 л/га, двукратную обработку фунгицидом Новус-Ф, КС в дозе 0,6 л/га, обработку инсектицидом Альфа-циперметрин 0,15 л/га.

Биологический учет урожайности проводился ручным способом в фазу полной спелости озимой пшеницы. Осуществлен поделаноchnый отбор снопов с последующим определением структуры урожая.

Анализ данных

Для анализа и статистической обработки полученных результатов был использован дисперсионный анализ, приведенный в методических указаниях Б. А. Доспехова (2011). Данный метод общепринят для интерпретации биологических и сельскохозяйственных исследований, учитывает воздействие как регулируемых, так и случайных факторов.

Для оценки влияния погодных факторов на урожайность озимой пшеницы был использован метод корреляционного анализа данных.

Расчет экономической эффективности изучаемого мелиоранта производился по технологическим картам с использованием действующих нормативных затрат и цен. Стоимость сельскохозяйственной продукции получена за счет анализа открытых источников за период проведения исследований.

Результаты и обсуждение

Метеорологические условия в период 2021–2024 гг. отличались от среднееголетних показателей, по данным метеостанции г. Минеральные Воды. Так, по среднесуточной температуре воздуха вегетационный период озимой пшеницы 2021–2022 гг. был выше нормы на 2,1 °C, 2022–2023 гг. – на 2,4 °C,

2023–2024 гг. – на 4,0 °C. В среднем же за период исследований среднесуточная температура воздуха была выше среднееголетних значений на 2,8 °C (рисунок 1).

Среднее значение количества атмосферных осадков за весь период исследований составило 94 % от климатической нормы. Анализ данных выявил значительную вариабельность месячных сумм осадков относительно среднееголетних показателей. В периоды наблюдений 2021–2022 и 2022–2023 гг. суммарное количество осадков приближалось к норме, составляя 101 и 107 % соответственно. Однако в 2023–2024 гг. было зафиксировано существенное снижение осадков, до 74 % от нормы, что свидетельствует о выраженном дефиците увлажнения (рисунок 2).

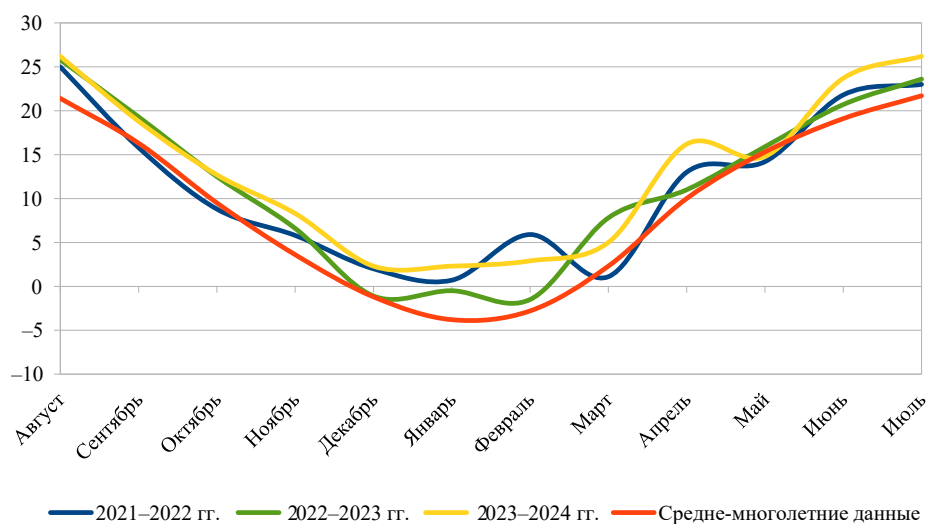


Рис. 1 – Среднесуточная температура воздуха за 2021–2024 гг., °C

Fig. 1 – Average daily air temperature 2021–2024, °C

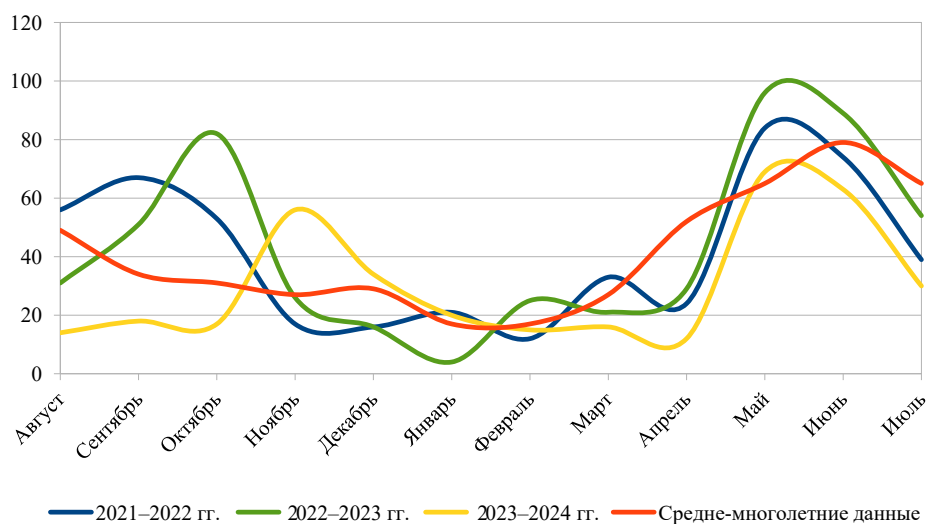


Рис. 2 – Сумма выпавших осадков за 2021–2024 гг., мм

Fig. 2 – The amount of precipitation 2021–2024, mm

Следовательно, в 2021–2022 и 2022–2023 гг. погодные условия были благоприятными для выращивания озимой пшеницы, а в 2023–2024 гг. – удовлетворительными, что найдет подтверждение в полученных нами данных по урожайности. Также погодные условия 2023–2024 гг. привели к тому, что созревание озимой пшеницы состоялось на 2 недели раньше, чем в прошлые годы наблюдений, а, следовательно, изменились сроки учета урожайности.

В результате выполненных нами исследований было установлено, что озимая пшеница отзывчива на применяемые дозы фосфогипса нейтрализованного (таблица 1).

Снижение урожайности наблюдалось на всех вариантах с применением мелиоранта. При пониженной (5 т/га) и рекомендуемой (10 т/га) дозах прибавка составила 0,30–0,31 т/га, что в среднем на 7 % превысило контрольные показатели. Более высокие дозы (15 и 20 т/га) обеспечили увеличение урожайности на 0,33–0,37 т/га, что на 8–9 % выше контроля.

На третий год последствий средняя урожайность озимой пшеницы на всех опытных участках оказалась ниже, чем в 2022–2023 гг., что, вероятно, обусловлено неблагоприятными погодными условиями – дефицитом влаги и неоптимальным температурным режимом в период вегетации.

Таблица 1 – Влияние фосфогипса нейтрализованного на урожайность озимой пшеницы, т/га
Table 1 – The effect of neutralized phosphogypsum on the yield of winter wheat, t/ha

Варианты / показатели	2022 г.		2023 г.		2024 г.		Среднее за 3 года	
	Значение	$\Delta\pm$	Значение	$\Delta\pm$	Значение	$\Delta\pm$	Значение	$\Delta\pm$
1. Контроль	5,01	–	4,18	–	2,34	–	3,84	–
2. ФГн 5 т/га	5,06	0,05	4,48	0,30	2,62	0,28	4,05	0,21
3. ФГн 10 т/га	5,24	0,23	4,49	0,31	2,67	0,33	4,13	0,29
4. ФГн 15 т/га	4,87	–0,14	4,55	0,37	2,67	0,33	4,02	0,18
5. ФГн 20 т/га	4,51	–0,50	4,51	0,33	2,64	0,30	3,89	0,05
НСР05	0,22	–	0,25	–	0,21	–	0,19	–
F05	3,48	–	3,48	–	3,48	–	2,61	–
Fф	15,46	–	3,61	–	4,46	–	4,23	–
Sx %	1,39	–	1,79	–	2,57	–	0,28	–

Достоверность результатов эксперимента в течение трехлетнего периода наблюдений подтверждается статистической обработкой данных: значения F -критерия по годам находились в диапазоне от 3,61 до 15,46.

В первый год после внесения нейтрализованного фосфогипса влияние на урожайность озимой пшеницы было неоднозначным. При дозах мелиоранта 5 и 15 т/га достоверных изменений урожайности не выявлено. Однако применение 10 т/га мелиоранта привело к увеличению урожайности на 0,23 т/га, что на 5 % выше контрольного показателя. В то же время внесение 20 т/га фосфогипса нейтрализованного оказало отрицательное воздействие, снизив урожайность на 0,50 т/га.

На второй год после внесения нейтрализованного фосфогипса урожайность озимой пшеницы показала более устойчивую положительную динамику. Достоверное уве-

Так, с показателями количества выпавших за вегетационный период осадков выявлена сильная положительная корреляционная связь ($r = 0,92$), а с показателями температуры воздуха – сильная отрицательная ($r = -0,98$).

Тем не менее, как и в предыдущем сезоне, достоверное увеличение урожайности зафиксировано на всех делянках с внесением нейтрализованного фосфогипса. Наибольшая прибавка – 0,33 т/га (14 % к контролю) – достигнута при применении 10 и 15 т/га мелиоранта. Доза 20 т/га заняла второе место по эффективности, обеспечив увеличение урожая на 0,30 т/га (13 %). Наименьший результат показал вариант с пониженной нормой внесения (5 т/га), где прирост составил 0,28 т/га (12 %).

Если оценивать среднюю урожайность озимой пшеницы за 3 года наблюдений, то по вариантам опыта она варьировала от 3,84

до 4,13 т/га. На вариантах с внесением 20 т/га фосфогипса нейтрализованного относительно контроля была получена средняя прибавка урожайности в 1 %. На вариантах с внесением 5 и 15 т/га мелиоранта прибавка урожайности составила порядка 5 %. Максимальная средняя прибавка урожайности за 3 года выявлена на варианте с внесением 10 т/га мелиоранта, где она составила порядка 8 %. При этом по значению НСР в среднем за период исследований достоверную прибавку урожайности продемонстрировали только варианты с внесением 5 и 10 т/га фосфогипса нейтрализованного. Считаем, что для оценки последствий мелиоранта при внесении 15 и 20 т/га нужно использовать более длительный период наблюдений.

Для экономического обоснования применения фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта черноземов обыкновенных слабосолонцеватых проведена оценка рентабельности возделывания озимой пшеницы при различных дозах его внесения. Экономические расчеты были проведены по технологическим картам, которые разработаны в соответствии со стандартной агротехникой, адаптированной к почвенно-климатическим условиям Андроповского муниципального округа Ставропольского края и ресурсным возможностям К(Ф)Х Сабынина Г. К. Базовые расчеты выполнены для условного участка 100 га с применением нормативов выработки и топливных затрат.

Расчеты на приобретение и транспортировку фосфогипса нейтрализованного до места внесения составлены исходя из его доставки из г. Белореченска Краснодарского края. Согласно действующим условиям отгрузки, цена мелиоранта составляет 12 руб/т. Дополнительные расходы включают: 5 руб/т – погрузка мелиоранта; 6 руб/т·км – транспортировка (рыночная ставка). Расстояние от г. Белореченска до с. Крымгиреевское – 278 км, поэтому стоимость доставки одной тонны составила 1668 руб/т. Общие затраты (приобретение, погрузка, доставка) – 1685 руб/т.

Для установления цен на готовую продукцию использованы данные официальных сайтов крупных дистрибьюторов и агрегаторов цен на сельскохозяйственную продукцию (ТД «РИФ», АО «Астон», «АгроНовости»). Выбор уровня цен также соответствует классу зерна, определенному по содержанию клейковины: в 2022–2023 гг. на всех вариантах опыта было получено зерно 5-го класса, в 2024 г. на контроле 4-го класса, на вариантах с внесением фосфогипса нейтрализованного – 3-го класса.

Поскольку фосфогипс вносился единообразно в 2021 году, его стоимость была равномерно распределена на все годы исследования для корректного сравнения экономических показателей. Средняя за 3 года исследований структура производственных затрат на возделывание озимой пшеницы представлена на рисунке 3.

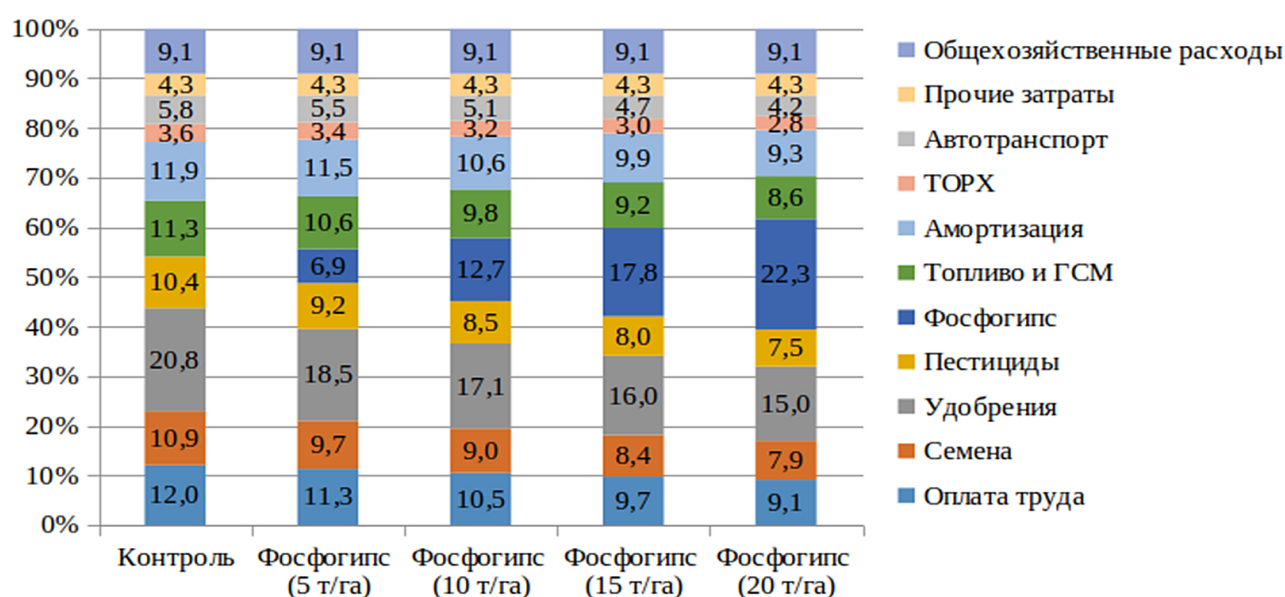


Рис. 3 – Структура производственных затрат возделывания озимой пшеницы при применении фосфогипса нейтрализованного в среднем за 3 года, %

Fig. 3 – The structure of the production costs of winter wheat cultivation using neutralized phosphogypsum for an average of 3 years, %

Таблица 2 – Показатели экономической эффективности возделывания озимой пшеницы при применении фосфогипса нейтрализованного в среднем за 2022–2024 гг.

Table 2 – Economic efficiency indicators of winter wheat cultivation using phosphogypsum neutralized on average for 2022–2024

Показатель	Ед. изм.	Вариант опыта				
		1. Кон- троль	2. ФГн 5 т/га	3. ФГн 10 т/га	4. ФГн 15 т/га	5. ФГн 20 т/га
Урожайность	т/га	3,84	4,05	4,13	4,03	3,89
Цена реализации	руб/т	12000,0	13000,0	13000,0	13000,0	13000,0
Выручка от реализации	руб/га	46080,0	52650,0	53690,0	52390,0	50570,0
Затраты труда на 1 га	чел.-ч/га	8,5	8,9	8,9	8,9	8,9
Затраты труда на 1 т	чел.-ч/т	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3
Производственные затраты	руб/га	36346,9	40821,7	44129,1	47293,0	50425,0
Себестоимость 1 т продукции	руб/т	9465,3	10079,4	10685,0	11735,2	12962,7
Прибыль	руб/га	9733,1	11828,3	9560,9	5097,0	145,0
Уровень рентабельности	%	26,8	29,0	21,7	10,8	0,3

В структуре производственных затрат на выращивание пшеницы, рассчитанных в среднем за три года, наибольшая доля приходится на: удобрения (17,5 %), амортизацию (10,8 %), оплату труда (10,5 %), топливо (9,9 %). Эти данные согласуются с расчетами по отдельным годам. При этом с повышением нормы внесения нейтрализованного фосфогипса его доля в общих затратах увеличилась с 2,1 до 8 %.

Средние за 3 года данные по эффективности возделывания озимой пшеницы в ходе исследований представлены в таблице 2.

Расчеты экономической эффективности в среднем за 3 года установили, что наибольшая прибыль и рентабельность достигнуты при внесении 5 т/га фосфогипса нейтрализованного: прибыль составила 11 828,3 руб/га, что на 21,5 % выше, чем на контроле; уровень рентабельности – 29,0 %, максимальный среди всех вариантов.

Доза мелиоранта 10 т/га, несмотря на максимальную урожайность, показала снижение эффективности по сравнению с 5 т/га: прибыль составила 9560,9 руб/га, что на 19,2 % ниже, чем при 5 т/га; рентабельность – 21,7 %.

За исследуемый период последствия фосфогипса нейтрализованного, 3 года, повышенные дозы мелиоранта (15 и 20 т/га) экономически нецелесообразны: при 15 т/га прибыль упала до 5097,0 руб/га, рентабельность – 10,8 %; при 20 т/га прибыль практически отсутствует (145 руб/га), рентабельность – 0,3 %. Считаем, что оценку

данных доз фосфогипса целесообразно проводить при более длительном периоде наблюдений. Также в этом случае необходимо рассмотреть возможность государственного субсидирования части затрат на внесение мелиоранта.

Заключение

По итогам проведенного исследования было установлено, что с учетом последствий фосфогипса нейтрализованного наиболее эффективной с точки зрения получения валовой продукции была доза мелиоранта 10 т/га, при которой средняя прибавка урожайности озимой пшеницы за 3 года составила 8 %. Данная прибавка была относительно стабильной во все годы исследований. Дозы 5 и 15 т/га мелиоранта также показали положительный эффект (5 % прибавки), но менее выраженный. Наименьшая эффективность наблюдалась при дозе 20 т/га (1 % прибавки).

Если к оценке эффективности мелиоранта подходить с экономической точки зрения, то было установлено, что оптимальной дозой мелиоранта является 5 т/га, которая обеспечивает получение наибольшей прибыли – 11 828,3 руб/га, а также максимальный уровень рентабельности – 29,0 %. Второй по эффективности оказалась расчетная доза мелиоранта 10 т/га, обеспечивающая прибыль 9560,9 руб/га при рентабельности 21,7 %.

Вклад авторов

Ю. И. Гречишкина: администрирование, концептуализация, создание рукописи и ее редактирование.

А. В. Матвиенко: формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи.

Contribution

Yu. I. Grechishkina: project administration, conceptualization, writing – review & editing.

A. V. Matvienko: formal analysis, investigation, writing – original draft.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Список литературы / References

1. Подколзин А.И., Беликова С.В., Бурлай А.В. *Солонцовые почвы Ставрополья, их свойства и приемы улучшения*. Ставрополь : Ставропольская краевая типография, 2018. 320 с.
Podkolzin A.I., Belikova S.V., Burlai A.V. *Saline soils of Stavropol, their properties and methods of improvement*. Stavropol : Stavropol Regional Printing House; 2018. 320 p. (In Russ.)
2. Чекмарев П.А., Ситников В.Н., Егоров В.П. и др. *Справочник агрохимика Ставрополья*. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Ставрополь: [б.и.], 2019. 644 с.
Chekmarev P.A., Sitnikov V.N., Egorov V.P. et al. *Handbook of agricultural chemists of Stavropol*. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Stavropol: [B.I.], 2019. 644 p. (In Russ.)
3. Матвиенко А.В., Гречишкина Ю.И. Сравнительная характеристика агрохимических показателей чернозёма обыкновенного солонцеватого в условиях Центрального Предкавказья. *Биологизация земледелия – основа продовольственной безопасности России в длительной перспективе : сборник научных статей*. 2024;96–100.
Matvienko A.V., Grechishkina Yu.I. Comparative characteristics of agrochemical indicators of ordinary saline chernozem in the conditions of the central Ciscaucasia. *Biologization of agriculture – the basis of Russia's food security in the long term : a collection of scientific articles*. 2024;96–100. (In Russ.)
4. Годунова Е.И. *Засолённые почвы Ставрополья и пути их мелиорации* : монография. Ставрополь : ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»; Ставрополь-Сервис-Школа, 2022. 466 с.
Godunova E.I. *Saline soils of Stavropol and ways of their reclamation* : monograph. Stavropol : Federal State Budgetary Institution «North Caucasian National Research University»; Stavropol-Service School, 2022. 466 p. (In Russ.)
5. Троц Н.М., Боровкова Н.В., Соловьев А.А. Оценка эффективности фосфогипса в агроценозах ярового ячменя. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022;1:3–11.
Trots N.M., Borovkova N.V., Soloviev A.A. Efficiency of phosphogypsum in agroecosystem of spring barley. *Proceedings of the Samara State Agricultural Academy*. 2022;1:3–11. (In Russ.)
6. Nayak S., Mishra C.S., Guru B.C., Rath M. Effect of phosphogypsum amendment on soil physico-chemical properties, microbial load and enzyme activities. *Journal of Environmental Biology*. 2011;32(5):613–617.
7. Maina L., Kiegiel K., Zakrzewska-Kołodziej G. Challenges and Strategies for the Sustainable Environmental Management of Phosphogypsum. *Sustainability*. 2025;17:3473. <https://doi.org/10.3390/su17083473>
8. Qi J., Zhu H., Zhou P. et al. Application of phosphogypsum in soilization: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2023;20(9). <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04783-2>
9. Mu L., Zhou H., Li A., Wang L., Wang J., Sun S., Zhang N., Bao L. The Effects of the Combined Application of Biochar and Phosphogypsum on the Physicochemical Properties of Cd-Contaminat-

- ed Soil and the Yield Quality of Chinese Cabbage. *Agriculture*. 2024;14(11):1865. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111865>
10. Муравьев Е.И., Добрыднев Е.П., Бельюченко И.С. Перспективы использования фосфогипса в сельском хозяйстве. *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2008;4(1):31–39.
Muravyev E.I., Dobrydnev E.P., Belyuchenko I.S. The perspectives of phosphogypsum utilization in the agricultural sector. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 2008;4(1):31–39. (In Russ.).
 11. Аканова Н.И., Холомьева Л.Н., Плескачев Ю.Н., Можаренко М.Н. Эффективность применения фосфогипса на дерново-подзолистых почвах в посевах озимой пшеницы. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2024;1:27–35. <https://doi.org/10.26178/4895.2024.70.28.006>
Akanova N.I., Kholomyeva L.N., Pleskachev Yu.N., Mozhareno M.N. Efficiency of phosphogypsum application on soddy-podzolic soils in winter wheat crops. *Problems of Agrochemistry and Ecology*. 2024;1:27–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.26178/4895.2024.70.28.006>
 12. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Хурум Х.Д., Лебедовский И.А., Хачмамук П.Н., Есипенко С.В., Перепелин М.А., Верещакова А.А. Эффективность различных форм фосфогипса нейтрализованного на посевах пшеницы озимой в качестве многокомпонентного удобрения. *Плодородие*. 2024;6:24–29. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2024.141.05>
Sheudjen A.Kh., Bondareva T.N., Hurum H.D., Lebedovsky I.A., Khachmamuk P.N., Esipenko S.V., Perepelin M.A., Vereshchakova A.A. Effectiveness of different forms of neutralized phosphogypsum when used on winter wheat crops as a polycomponent fertilizer. *Plodородie*. 2024;6:24–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2024.141.05>
 13. Визирская М.М., Аканова Н.И., Бельтюков Л.П. Эффективность применения фосфогипса при возделывании льна масличного и озимой пшеницы. *Плодородие*. 2020;5(116):66–68. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.116.19>
Vizirskaya M.M., Akanova N.I., Beltyukov L.P. Efficiency of phosphogypsum application during cultivation of oil flax and winter wheat. *Plodородie* 2020;5(116):66–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.116.19>
 14. Цховребов В.С., Умаров А.Б., Фаизова В.И., Новиков А.А. Влияние фосфогипса и удобрений на содержание элементов питания в черноземе южном и урожайность озимой пшеницы. *Деловой вестник АПК. Ставропольский край*. 2021;3:54–59. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10703>
Tskhovrebov V.S., Umarov A.B., Faizova V.I., Novikov A.A. The effect of phosphogypsum and fertilizers on the content of nutrients in southern chernozem and the yield of winter wheat. *Business bulletin of the Agroindustrial Complex. Stavropol territory*. 2021;3:54–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10703>
 15. Аканова Н.И., Шеуджен А.Х., Визирская М.М., Андреев А.А. Агроэкологическая эффективность нейтрализованного фосфогипса как химического мелиоранта и фосфорсодержащего минерального удобрения в условиях богарного земледелия Краснодарского края. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2018;2:32–37.
Akanova N.I., Sheudzhen A.Kh., Vizirskaya M.M., Andreev A.A. Agro-ecological efficiency of neutralized phosphogypsum as a chemical meliorant and phosphorus-containing mineral fertilizer in the conditions of rain-fed agriculture of the Krasnodar Territory. *International Agricultural Journal*. 2018;2:32–37. (In Russ.).
 16. Maina L., Kiegiel K., Chajduk E., Zakrzewska-Kořtuniewicz G. Chemical and radiochemical characterization of phosphogypsum from Poland. *Nukleonika*. 2024;69(2):113–7. <https://doi.org/10.2478/nuka-2024-0016>
 17. Jin Y., Yang D., Wu Y. et al. Preparation of Biofertilizer with Phosphogypsum and Straw: Microbial Community Changes and Plant Growth Effects. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2024;24(4). <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01806-w>
 18. Гончаров В.М., Скориков С.В. Проблемы и пути утилизации фосфогипса с разработкой эффективных технологий и новых строительных материалов с соответствующими потребительскими характеристиками. *Евразийский Союз Ученых*. 2014;7(1):50–52.
Goncharov V.M., Skorikov S.V. Problems and ways of utilization of phosphogypsum with the development of effective technologies and new building materials with appropriate consumer characteristics. *The Eurasian Union of Scientists*. 2014;7(1):50–52. (In Russ.).

19. Агапова П.В., Киселев М.В., Фрейдкин И.А. Оценка биологической эффективности применения обезфторенного фосфогипса в качестве удобрения в последствии. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2024;1(75):48–57. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2023-5-72-80>
Agapova P.V., Kiselev M.V., Freidkin I.A. Assessment of biological efficiency of application of defluorinated phosphogypsum as residual fertilizer. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2024;1(75):48–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2023-5-72-80>
20. Luo A., Li J., Xiao Y., He Z., Liang J. Engineering Soil Quality and Water Productivity Through Optimal Phosphogypsum Application Rates. *Agronomy*. 2025;15(1):35. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010035>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гречишкина Юлия Ивановна –

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
кафедры агрохимии и физиологии растений,
Ставропольский государственный аграрный
университет, г. Ставрополь, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2236-5724>

SPIN-код: [1062-0407](https://orcid.org/0000-0003-2236-5724)

lnwg@mail.ru

Матвиенко Алексей Викторович –

аспирант кафедры агрохимии и физиологии
растений,
Ставропольский государственный аграрный
университет, г. Ставрополь, Россия

<https://orcid.org/0009-0006-7568-9668>

SPIN-код: [7188-2197](https://orcid.org/0009-0006-7568-9668)

stavgeo@rambler.ru

ABOUT THE AUTHORS

Yulia I. Grechishkina –

Dr. Sci. (Agric.), Prof.,
Department of Agrochemistry
and Plant Physiology,
Stavropol State Agrarian University,
Stavropol, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-2236-5724>

lnwg@mail.ru

Alexey V. Matvienko –

Postgraduate student, Department
of Agrochemistry and Plant Physiology,
Stavropol State Agrarian University,
Stavropol, Russia

<https://orcid.org/0009-0006-7568-9668>

stavgeo@rambler.ru