

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Научная статья

УДК 633.16: 631.859

doi: 10.55471/19973225_2022_7_1_3

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОСФОГИПСА В АГРОЦЕНОЗАХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

Наталья Михайловна Троц^{1✉}, Наталья Владимировна Боровкова², Анатолий Александрович Соловьев³

^{1, 2, 3}Самарский государственный аграрный университет, Усть-Кинельский, Самарская область, Россия

¹troz_shi@mail.ru✉, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>

²isslab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1215-7067>

³anatoliy.solovyev@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-6486-7899>

Цель исследований – разработка приемов мелиорации почвы за счет внесения фосфогипса под посевы ярового ячменя на черноземе солонцеватом в условиях центральной агроклиматической зоны Самарской области. Исследования проводились в 2019-2021 гг. Почва – чернозём обыкновенный солонцеватый среднесуглинистый с мощностью гумусового горизонта до 50-60 см. Полные всходы ярового ячменя сорта Беркут в условиях центральной агроклиматической зоны Самарской области появляются на 7 день после посева, какого-либо влияния на данный процесс действия минеральных удобрений и фосфогипса не прослеживается. Их влияние начинает проявляться позже. Внесение в почву фосфогипса в норме 1,5-4,5 т/га увеличивает вегетацию ярового ячменя на 3-4 дня, применение фосфогипса в норме 6,0 т/га – на 5 дней. Внесение в почву фосфогипса на фоне применения Аммофоса в норме 100 кг/га в физическом весе, или 12 кг/га – N и 52 кг/га – P₂O₅ действующего вещества, способствует увеличению натуре зерна, в среднем на 5,9-9,5% – до 710-734 г/л, содержания в абсолютно сухом веществе жира и золы, соответственно на 3,4-14,2 и 4,5-20,3% и безазотистых экстрактивных веществ – с 69,2 до 72,7%. Максимальные значения этих показателей отмечались в вариантах с внесением фосфогипса 4,5 и 6,0 т на 1 га. Экономически наиболее целесообразно под яровой ячмень сорта Беркут на черноземе обыкновенном солонцеватом центральной агроклиматической зоны Самарской области вносить фосфогипс в норме 4,5 т/га. Применение повышенной нормы фосфогипса (6,0 т/га) не обеспечивает существенную прибавку урожая, ведет к увеличению производственных затрат, снижению уровня рентабельности производства и нерациональному использованию мелиоранта.

Ключевые слова: фосфогипс, солонцеватость, мелиорация, экономическая оценка.

Для цитирования: Троц Н. М., Боровкова Н. В., Соловьев А. А. Оценка эффективности фосфогипса на посевах ярового ячменя // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. №1. С. 3–11. doi: 10.55471/19973225_2022_7_1_3

AGRICULTURE

Original article

EFFICIENCY OF PHOSPHOGYPSUM IN AGROCENOSIS OF SPRING BARLEY

Natalia M. Trots^{1✉}, Natalia V. Borovkova², Anatoly A. Soloviev³

^{1, 2, 3}Samara State Agrarian University, Ust-Kinelsky, Samara Region, Russia

¹troz_shi@mail.ru✉, <http://orcid.org/0000-0003-3774-1235>

²isslab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1215-7067>

³anatoliy.solovyev@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-6486-7899>

The purpose of the research is to develop ways of soil reclamation applying phosphogypsum for spring barley crops on chernozemic soil growing under the conditions of the central agro-climatic zone of the Samara region. The studies were conducted in 2019-2021. The soil is ordinary medium loamy chernozemic with A1 horizon up to 50-60 cm. Full shoots of spring barley of the Berkut variety under the conditions of the central agro-climatic zone of the Samara region come up on the 7th day after seeding have been performed, there is no effect on this process both of mineral fertilizers and phosphogypsum. Their influence begins to manifest itself later. The introduction of phosphogypsum into the soil at a rate of 1.5-4.5 t / ha increases the vegetation of spring barley by 3-4 days, the use of phosphogypsum at a rate of 6.0 t / ha – by 5 days. The introduction of phosphogypsum into the soil against the background of the use of Ammophos in the norm of 100 kg/ha in gross weight, or 12 kg /ha – N and 52 kg/ha – P₂O₅ of the primary material, contributes to an increase of grain, on average by 5.9-9.5% – up to 710-734 g/l, the content of fat and ash in absolutely dry matter, respectively by 3.4-14.2 and 4.5-20.3% and free nitrogen extract – с 69.2% до 72.7%. The maximum values of these indicators were noted on the variants with the introduction of phosphogypsum 4.5 and 6.0 t per 1 ha. Economically, it is most expedient to apply phosphogypsum at a rate of 4.5 t/ha for spring barley of the Berkut variety on ordinary chernozemic soil of the central agro-climatic zone of the Samara region. The use of the above norm of phosphogypsum (6.0 t/ha) does not provide a significant increase of yield, leads to an increase of the production cost, a decrease of profitability of works and inefficient use of ameliorant.

Keywords: phosphogypsum, alkalinity, melioration, economic evaluation.

For citation: Trots, N. M., Borovkova, N. V. & Soloviev, A. A. (2022). Efficiency of phosphogypsum in agrocenosis of spring barley. *Izvestia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 1, 3–11. (in Russ.). doi: 10.55471/19973225_2022_7_1_3

Даже лучшие почвы мира – черноземы в агрокультуре, особенно в ирригационной агрокультуре – также деградируют, приобретают иллювиально-элювиальное строение почвенного профиля и уплотняются (плотность достигает 1,5 т/м³ и более) [1]. Это требует от современной цивилизации принципиального переосмысления подходов к технологической активности человека в биосфере в смысле ее устойчивости, продуктивности, рекреационного качества, привлекательности для жизни, освоения природоподобных технологий и технических решений для их реализации. Современные технологии в земледелии и растениеводстве должны строиться на природоохранной и средосберегающей основе, а антропогенное воздействие на почву, с целью повышения выхода биологического продукта, должно предусматривать средне- и долгосрочные меры коррекции ее свойств – мелиорацию [2].

В результате нерационального использования пашни, нарушения систем ее обработки и технологий возделывания культур в Самарской области заметно увеличилась площадь засоленных и солонцеватых земель, достигнув 70 тыс. га. Причем каких-либо мелиорирующих мероприятий на них не проводится. Проблема решается проведением мелиоративных мероприятий, в первую очередь путем внесения гипса. Однако, наряду с гипсом для рассоления почв может быть использован фосфогипс Балаковского филиала АО «Апатит», находящегося в Саратовской области на относительно близком расстоянии от Самарской области. Его запасы в отвалах предприятия огромны и превышают 40 млн т, а цена, с доставкой в железнодорожном вагоне, составляет около 900 руб. за 1 т, при условии самовывоза – 100 руб. за 1 т [3, 4].

Научные исследования по использованию фосфогипса в качестве мелиоранта в условиях Самарской области практически не проводились. В результате нет конкретных рекомендаций по его применению под различные сельскохозяйственные культуры. В связи с этим исследования по данной проблеме являются актуальными и имеют большую практическую значимость.

Цель исследований – разработка приемов мелиорации почвы за счет внесения фосфогипса под посевы ярового ячменя на черноземе солонцеватом в условиях центральной агроклиматической зоны Самарской области.

Задачи исследований – изучить влияние внесения фосфогипса различных норм (1,5, 3,0, 4,5 и 6,0 т/га) на полевую всхожесть и сохранность растений ячменя, особенности роста и развития растений, формирование элементов структуры урожая и продуктивность посевов; провести экономическую оценку целесообразности внесения фосфогипса в норме 1,5, 3,0, 4,5 и 6,0 т/га на черноземе обыкновенном солонцеватом под посевы ярового ячменя.

Сумма положительных температур за вегетационный период ячменя (май – июль) в среднем по годам исследований составила в среднем 2009⁰С, при норме 1602⁰С, ГТК 0,55. Таким образом, погодные условия в период вегетации опытных посевов ячменя можно характеризовать как засушливые.

Материал и методы исследований. В 2019-2021 гг. полевой опыт закладывался на территории опытного участка в юго-восточной части Кинельского района на верхней притеррасной части поймы правого берега р. Самара с выравненным микрорельефом. Почва – чернозём обыкновенный солонцеватый среднесуглинистый с мощностью гумусового горизонта до 50-60 см. Схема опыта включала шесть вариантов (табл. 1).

Таблица 1

Схема полевого опыта по влиянию фосфогипса на посевы ярового ячменя

№	Вариант опыта, норма внесения	Способ и сроки внесения, особенности применения
1	Контроль (без/удобрений)	Внесение аммофоса и фосфогипса под обработку до посева культуры.
2	Аммофос 100 кг/га (Фон)	
3	Фон + 1,5 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	
4	Фон + 3,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид*	
5	Фон + 4,5 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид*	
6	Фон + 6,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид*	

Примечание * – подкормка карбамидом проводилась в фазу колошения, данные по удобрениям приведены в физической массе.

В вариантах 3-6 фосфогипс вносили на фоне применения минерального удобрения Аммофос ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) в норме 100 кг/га в физическом весе, или 12 кг/га – N и 52 кг/га – P_2O_5 действующего вещества. Одна половина расчетной нормы вносилась путем разбрасывания под предпосевную культивацию, а вторая – при посеве через туковывсевающие аппараты сеялки. В период колошения растения этих вариантов подкармливались карбамидом ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (мочевина), в норме 100 кг/га в физическом весе, или 46 кг/га действующего вещества. Перед уборкой урожая в посевах каждого варианта опыта на делянках двух несмежных повторений были отобраны снопы растений вместе с корневыми системами для определения структуры урожая – совокупности элементов, слагающих продуктивность растений. Затем путем разбора снопов подсчитывалось число растений на 1 м², среднее число продуктивных стеблей на 1 м², определялся коэффициент продуктивной кустистости, устанавливалось количество и масса зерен в одном колосе, масса всех зерен с 1 м², масса 1000 зерен, рассчитывалась биологическая урожайность посевов.

Норма высева семян определялась в расчете 4,5 млн шт. всхожих семян на 1 га. Объект исследований – растения ярового ячменя сорта Беркут. Сорт выведен в Самарском НИИСХ, рекомендован для возделывания в Центральной и Южной зонах Самарской области. Растение среднерослое. Зерновка крупная. Масса 1000 зерен 42-49 г. Средняя урожайность в регионе 2,77 т/га, максимальная – 5,78 т/га. Сорт среднеспелый, вегетационный период длится 72-84 дня. Зернофуражный. Содержание белка 10,9-12,7%.

Общая площадь делянок – 100 м², учетная 80 м², повторность четырехкратная, размещение вариантов систематическое. Полевые опыты сопровождались необходимыми наблюдениями и анализами [5, 6, 7, 8].

Результаты исследований. Яровой ячмень сорта Беркут, даже при дефиците атмосферной влаги, способен формировать в условиях центральной агроклиматической зоны Самарской области, на слабощелочных черноземных почвах, достаточно высокие урожаи зерна – на уровне 2,32 т зерна с 1 га.

Внесение Аммофоса в норме 100 кг/га в физическом весе, или 12 кг/га – N и 52 кг/га – P_2O_5 действующего вещества, достоверно повышает продуктивность растений в среднем на 7,7% или 0,18 т/га – до 2,50 т/га, против 2,32 т/га на контроле (табл. 2).

Применение фосфогипса на фоне Аммофоса, даже в относительно небольшой норме – 1,5 т/га, и подкормка растений карбамидом (вариант 3) увеличивает сборы зерна с 1 га на 12,5 % – до 2,61 т/га. Повышение нормы мелиоранта до 3,0 т/га (вариант 4) способствует лучшей оптимизации

реакции почвенной среды и минерального питания растений, в результате урожайность растений повышается еще на 9% и достигает 2,82 т/га, что на 21,5% выше контрольного значения.

Выявленные биометрические особенности развития растений в вариантах с применением фосфогипса в норме 4,5 т/га (вариант 5) и 6,0 т/га (вариант 6) обуславливали максимально высокие сборы зерна, соответственно 3,14 и 3,16 т/га, что на 35,3 и 36,2% выше урожайности контрольного варианта.

Таблица 2

Урожайность зерна ярового ячменя при внесении фосфогипса

№	Вариант опыта, норма внесения	Урожайность зерна, т/га	Прибавка по отношению к контролю	
			т/га	%
1	Контроль (без/удобрений)	2,32	-	-
2	Аммофос 100 кг/га (Фон)	2,50	0,18	7,7
3	Фон + 1,5 т/га ФГ+ 100 кг/га карбамид	2,61	0,29	12,5
4	Фон + 3,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	2,82	0,50	21,5
5	Фон + 4,5 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	3,14	0,82	35,3
6	Фон + 6,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	3,16	0,84	36,2
НСР ₀₅		0,2	-	-

Установлено, что продуктивность растений варианта с повышенной нормой фосфогипса (6,0 т/га) примерно равна урожайности растений варианта с нормой внесения фосфогипса 4,5 т/га. Очевидно дальнейший рост урожайности лимитируется не наличием питательных веществ почве и уровнем реакции почвенного раствора, а другими факторами и в первую очередь влагообеспеченностью [9, 10].

По результатам исследований можно сделать заключение, что внесение в почву фосфогипса на фоне применения Аммофоса в норме 100 кг/га в физическом весе, или 12 кг/га – N и 52 кг/га – P₂O₅ действующего вещества, достоверно обеспечивает прибавку урожая зерна ярового ячменя сорта Беркут в пределах 12,5-36,2%, или 0,29-0,84 т зерна с 1 га. Максимальное количество зерна с 1 га было получено в вариантах с внесением фосфогипса в норме 4,5 т/га (вариант 5) и 6,0 т/га (вариант 6), соответственно – 3,14 и 3,16 т.

Число продуктивных стеблей в вариантах варьирует от 442 до 523 шт./ м². Коэффициент продуктивной кустистости во всех вариантах был одинаковым (2,2) и не зависел от нормы внесения фосфогипса. Густота стояния продуктивных стеблей, в первую очередь, определялась сохранностью растений к уборке. Этот показатель закладывается на начальных этапах органогенеза (фаза кущения), когда действие мелиоранта проявляется еще слабо и кущение, в первую очередь, определяется биологическими особенностями культуры и наличием доступной почвенной влаги (табл. 3).

Таблица 3

Показатели структуры урожая зерна ярового ячменя при внесении фосфогипса

№	Вариант опыта, норма внесения	Число растений к уборке, шт./м ²	Коэффициент продуктивного колосения	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна колоса, г	Масса зерен с 1 м ² /г	Масса 1000 зерен, г	Биологическая урожайность, т/га
1	Контроль (без удобрений)	200	2,2	15,5	0,61	270	38,2	2,70
2	Аммофос 100 кг/га (Фон)	219	2,2	16,7	0,66	315	39,8	3,15
3	Фон + 1,5 т/га ФГ+ 100 кг/га карбамид	222	2,2	17,0	0,68	328	40,4	3,28
4	Фон + 3,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	225	2,2	17,1	0,70	347	41,0	3,47
5	Фон + 4,5 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	230	2,2	17,5	0,72	377	41,5	3,77
6	Фон + 6,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	231	2,2	17,8	0,74	380	41,8	3,80

Анализ данных по числу зерен в колосе показал, что их количество в среднем варьирует от 15,5 шт. (у растений контрольного варианта) до 17,5 и 17,8 шт. (в вариантах с внесением фосфогипса 4,5 и 6,0 т/га). Данная закономерность привела к изменению суммарной массы зерна с одного колоса – с 0,61 до 0,74 г. Этот показатель зависел не только от числа зерен, но и от их массы. Установлено, что с повышением уровня агрофона и запаса макро- и микроэлементов в почве, увеличивается и абсолютная масса зерна (масса 1000 зерен) с 38,2 г (контроль) до 41,5 и 41,8 г (варианты с внесением фосфогипса 4,5 и 6,0 т/га). Следовательно, масса зерна с одного колоса в этих вариантах был в среднем на 18,0 и 21,3% больше, чем на контроле и равнялся соответственно 0,72 и 0,74 г, против 0,61 г – у растений контрольного варианта.

Повышение массы 1000 семян в вариантах с внесением фонового удобрения и фосфогипса различных норм обусловлено лучшим минеральным питанием растений, более продуктивным ходом процессов фотосинтеза и накопления органического вещества в зерне. Контрольные растения произрастали в условиях слабощелочного почвенного раствора, который во многом сдерживал поступление влаги в растительные ткани и реализацию потенциальных возможностей сорта.

Число продуктивных колосьев на 1 м² и масса зерна с одного колоса определяли биологическую урожайность зерна на 1 м² опытных посевов. В фоновом варианте (Аммофос 100 кг/га) она была в среднем на 16,6% больше контрольного индекса – 315 г, против 270 г – на контроле. В вариантах с применением фосфогипса она дополнительно возрастала на 4,1-20,6% по сравнению с вариантом 2, а по отношению к контролю – на 21,4-40,7%.

Урожайность зерна с 1 м² посевов в конечном итоге обуславливала биологическую урожайность 1 га посевов. Она оказалась в среднем на 16,3-26,0% больше фактически полученной при комбайновой уборке и составляла 2,70-3,80 т/га. Очевидно часть зерна была потеряна при скашивании растений и их обмолоте. Однако выявленные ранее закономерности роста продуктивности растений по мере увеличения нормы внесения мелиоранта сохранялись. Наибольшая биологическая урожайность зерна в опыте была получена в вариантах с внесением 4,6 и 6,0 т/га фосфогипса, соответственно, 3,77 и 3,80 т/га.

По результатам исследований можно сделать заключение, что внесение Аммофоса в норме 100 кг/га в физическом весе, или 12 кг/га – N и 52 кг/га – P₂O₅ действующего вещества, способствует увеличению числа зерен в колосе в среднем на 7,7%, массы зерна колоса – на 8,1 %, массы 1000 зерен – на 4,1 %, массы всех зерен с 1 м² и биологической урожайности ячменя – на 16,6 %. Добавление к Аммофосу фосфогипса и карбамида способствует дальнейшему росту качественных параметров структуры урожая. При этом максимальное число зерен в колосе – 17,5 и 17,8 шт., их масса – 0,72 и 0,74 г, а также масса 1000 зерен с 38,2 г – на контроле до 41,5 и 41,8 г были отмечены у растений вариантов с внесением фосфогипса с нормой 4,5 и 6,0 т/га (варианты 5 и 6). Биологическая урожайность в среднем больше показателя контрольного варианта, соответственно, на 39,6 и 40,7 % и на 19,6 и 20,6% – фонового варианта.

Показатели качества зерна в опытах определялись в соответствии с действующими правилами и ГОСТами. Натура зерна определялась на зерновых весах (пурка) в соответствии с ГОСТ Р 54895-2012 «Зерно. Метод определения натуры», а химический состав зерна по ГОСТ Р 53900-2010 «Ячмень кормовой. Технические условия» [11, 12].

Взвешивания зерна литровой пуркой показало, что оно имеет достаточно высокую натуру – 670-734 г/л и по этому параметру относится к группе высоко натурального зерна (605-750 г/л) (табл. 4).

Таблица 4

Качество зерна ярового ячменя при внесении фосфогипса

№	Вариант опыта, норма внесения	Натура зерна, г/л	Химический состав зерна, в абсолютно сухом веществе, %				
			белок	клетчатка	жир	зола	БЭВ
1	Контроль (без/удобрений)	670	12,48	13,61	2,32	2,41	69,2
2	Аммофос 100 кг/га (Фон)	690	12,34	12,99	2,40	2,52	69,9
3	Фон + 1,5 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	710	12,30	11,63	2,50	2,60	70,1
4	Фон + 3,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	720	12,05	11,41	2,55	2,72	71,3
5	Фон + 4,5 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	730	11,20	10,82	2,58	2,86	72,5

6	Фон + 6,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	734	11,10	10,61	2,65	2,90	72,7
---	--	-----	-------	-------	------	------	------

Однако данный показатель разнился по вариантам опыта. Наиболее полновесное зерно было получено на делянках, где на фоне внесения Аммофоса применялся фосфогипс в норме 4,5 и 6,0 т/га, соответственно 730 и 734 г/л, что в среднем на 8,9 и 9,5% больше контрольного значения. В целом внесение фосфогипса с последующей подкормкой растений карбамидом позволило увеличить массу зерна на 5,9-9,5% – до 710-734 г/л против 670 г/л – на контроле. Внесение в почву Аммофоса также способствовало получению тяжеловесного зерна – 690 г/л, но прибавка была относительно небольшая и не превышала 2,9%, что находилось в пределах статистической ошибки опыта.

Внесение в почву аммофоса, а затем и фосфогипса с подкормкой растений карбамидом, обеспечивало дополнительное поступление в пахотный горизонт макро- и микроэлементов, а также оптимизировало реакцию среды обитания корневых систем, вытеснив из почвенного раствора ионы натрия (Na^+), заменив их ионами кальция (Ca^{2+}), тем самым улучшало снабжение растительного организма пищевыми ресурсами, стимулировало фотосинтетические и биохимические процессы в клетках и тканях, а, следовательно, и отложение пластических веществ в генеративных органах, что сказалось на полноте выполнения зерновок ячменя.

Химические анализы абсолютно сухого вещества зерна выявили особенности отложения в нем белковых веществ. При этом установлена обратная закономерность. С повышением агрофона содержание белка в зерне снижается в среднем на 1,1-12,4%. При этом минимальный уровень белка – 11,20 и 11,10% отмечен в вариантах с применением фосфогипса в норме 4,5 и 6,0 т/га (варианты 5 и 6), а максимальный – в контрольном варианте (без удобрений) – 12,48%.

По поводу этой закономерности некоторые исследователи считают, что наибольшее количество белка накапливают растения, произрастающие в условиях повышенных температур на сухих почвах с пониженным уровнем плодородия [3]. С увеличением влажности почвы и внесением удобрений в зерне больше откладывается крахмала.

Аналогичная закономерность прослеживалась и с клетчаткой, большую часть которой составляют пленки зерна. С повышением объема зерна, в вариантах с высокими нормами внесения фосфогипса, уменьшалось число складок и морщин, а, следовательно, и количество клетчатки, минимальное значение которой отмечалось в варианте 5 (4,5 т фосфогипса на 1 га) – 11,20% и в варианте 6

(6 т фосфогипса на 1 га) – 11,10%, что в среднем на 11,4 и 12,5% меньше, чем в контрольном варианте. Установлено, что концентрация жира в абсолютно сухом веществе находится на уровне 2,32- 2,65%, зольных веществ – на уровне 2,41-2,90%. При этом, в отличие от белка, их содержание с внесением Аммофоса и повышением нормы фосфогипса увеличивается в среднем соответственно на 3,4-14,2 и 4,5-20,3%. Очевидно это обусловлено дополнительным поступлением макро- и микроэлементов в растительные ткани, их участием в биохимических процессах образования органических соединений, в том числе запасных, с последующей локализацией в генеративных органах.

Внесение в почву фосфогипса на фоне применения Аммофоса в норме 100 кг/га в физическом весе, или 12 кг/га – N и 52 кг/га – P_2O_5 действующего вещества, способствует увеличению массы зерна в среднем на 5,9-9,5% – до 710-734 г/л, содержания в абсолютно сухом веществе жира и золы, соответственно на 3,4-14,2 и 4,5-20,3%, и БЭВ (безазотистых экстрактивных веществ) – с 69,2 до 72,7%. При этом максимальные значения показателей отмечались в вариантах с внесением 4,5 т фосфогипса на 1 га (вариант 5) и 6,0 т/га (вариант 6). Однако с повышением уровня плодородия почвы происходит снижение концентрации белка в зерне – с 12,48% (на контроле) до 11,20% – в варианте 5 и до 11,10% – в варианте 6.

Известно, что внедрение в производство тех или иных агротехнических мероприятий должно быть экономически оправдано, а дополнительные затраты полностью окупаться стоимостью полученной прибавки продукции.

Экономическими расчетами установлено, что стоимость полученного урожая в денежном выражении по вариантам опыта варьирует от 20 880 руб./га до 28 400 руб./га (в ценах, сложившихся на август – сентябрь 2021 г., в расчете 9 000 руб. за 1 т зерна ячменя) (табл. 5).

Производственные затраты на выполнение всех технологических операций, покупку удобрений и мелиоранта составили 9 160-12 950 руб./га и полностью окупались стоимостью

произведенной продукции, с получением условно чистого дохода в пределах 11720-15490 руб./га и уровнем рентабельности 100,6-127,9 %.

Таблица 5

Экономическая эффективность применения фосфогипса на посевах ярового ячменя

№	Вариант опыта, норма внесения	Стоимость продукции, руб./га	Производственные затраты, руб./га	Условный чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
1	Контроль (без/удобрений)	20880	9160	11720	127,9
2	Аммофос 100 кг/га (Фон)	22500	11200	11300	100,8
3	Фон + 1,5 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	23490	12500	10990	87,9
4	Фон + 3,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	25380	12650	12730	100,6
5	Фон + 4,5 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	28260	12800	15460	120,7
6	Фон + 6,0 т/га ФГ + 100 кг/га карбамид	28440	12950	15490	119,6

Внесение минеральных удобрений и мелиоранта потребовало дополнительных материальных и денежных затрат, которые в фоновом варианте опыта (вариант 2) увеличились по сравнению с контролем на 2 040 руб./га, а в варианте с внесением фосфогипса в норме 1,5 т/га (вариант 3) – на 12 500 руб./га. Однако прибавка продукции от внесения сравнительно небольшой нормы мелиоранта оказалось недостаточно высокой, для того чтобы удержать показатель рентабельности на уровне контрольного значения. Он составил только 87,9%, против 127,9% – в контрольном варианте.

По мере увеличения нормы внесения фосфогипса до 3,0 т/га (вариант 4) увеличивался объем дополнительно произведенного зерна, а, следовательно, и общая стоимость продукции – в среднем на 8,0%. Однако производственные затраты, благодаря низкой стоимости фосфогипса (100 руб. за 1 т), возрастали только на 1,2%. В результате величина условно чистого дохода повышалась на 15,8%, а уровень рентабельности составлял уже 100,6%.

Повышение нормы внесения мелиоранта до 4,5 т/га (вариант 5) обеспечивало существенную прибавку урожая по сравнению с контрольным вариантом и вариантом с минимальной нормой фосфогипса 1,5 т/га (вариант 3), достигшую в денежном выражении соответственно 7 380 руб./га и 4 770 руб./га, при сравнительно небольших производственных затратах. В результате существенно возрастал условно чистый доход, а уровень рентабельности повышался до 120,7%. При этом в отличие от контрольного варианта, действие фосфогипса пролонгировалось, как минимум, на два последующих года, что будет обеспечивать прибавку урожая следующих культур севооборота.

Экономическая оценка варианта с внесением повышенной нормы фосфогипса (6,0 т/га) (вариант 6) не выявила его преимущества перед вариантом с нормой внесения мелиоранта 4,5 т/га. Стоимость полученного урожая практически не увеличивается, а производственные затраты возрастают, что не обеспечивает рост показателя рентабельности, который даже снижается до 119,7%. Следовательно, внесение повышенной нормы мелиоранта в почвенно-климатических условиях хозяйства не целесообразно, поскольку ведет к нерациональному его использованию.

Заключение. Полные всходы ярового ячменя сорта Беркут в условиях центральной агроклиматической зоны Самарской области появляются на 7 день после посева, при этом, какого-либо влияния на данный процесс действия минеральных удобрений и фосфогипса не прослеживается. Их влияние начинает проявляться позже. Внесение в почву фосфогипса в норме 1,5-4,5 т/га увеличивает вегетацию ярового ячменя на 3-4 дня, а применение фосфогипса в норме 6,0 т/га – на 5 дней. Внесение фосфогипса весной поверхностно в разброс под культивацию практически не оказывает влияния на полевую всхожесть семян, но позволяет, по сравнению с контролем, в среднем на 5,5-12,2 % увеличить сохранность растений к уборке. При этом наибольший эффект наблюдается при внесении в почву 4,5-6,0 т мелиоранта на 1 га. Внесение фосфогипса под посевы ярового ячменя сорта Беркут, увеличивает темпы среднесуточных линейных приростов стеблей и их высоту к моменту уборки урожая, в среднем, на 3,9-12,6 % или на 6,0-13 см. При этом максимальные значения высоты стеблей, ко времени их среза комбайном, отмечались у растений вариантов 5 (4,5 т/га) и 6 (6,0 т/га), соответственно 86 см и 89 см, против 76 см – в контрольном варианте. Использование фосфогипса на фоне применения Аммофоса в норме 100 кг/га в физическом весе, или 12 кг/га – N и

52 кг/га – P₂O₅ действующего вещества, достоверно обеспечивает прибавку урожая зерна ярового ячменя сорта Беркут в пределах 12,5-36,2 %, или 0,29-0,84 т зерна с 1 га, при этом максимальное количество зерна с 1 га было получено в вариантах с внесение фосфогипса в норме 4,5 и 6,0 т/га, соответственно

3,14 и 3,16 т. Внесение Аммофоса в норме 100 кг/га в физическом весе способствует увеличению числа зерен в колосе в среднем на 7,7 %, массы зерна колоса – 8,1 %, массы 1000 зерен – на 4,1 %, массы всех зерен с 1 м² и биологической урожайности ячменя – на 16,6 %. Добавление к Аммофосу фосфогипса и карбамида ведет к дальнейшему росту качественных параметров структуры урожая. При этом максимальное число зерен в колосе – 17,5 и 17,8 шт., их масса – 0,72 и 0,74 г, а также масса 1000 зерен были отмечены у растений вариантов с внесение фосфогипса с нормой 4,5 и 6,0 т/га. Их биологическая урожайность оказалась в среднем на 39,6 и 40,7 % больше показателя контрольного варианта и на 19,6 и 20,6 % – фонового варианта.

Все варианты норм внесения в почву фосфогипса окупаются условно чистым доходом. При этом внесение фосфогипса в норме 1,5 и 3,0 т/га не обеспечивает, по сравнению с контролем, и фоновым вариантом, существенной прибавки условно чистого дохода.

Экономически наиболее целесообразно под яровой ячмень сорта Беркут на черноземе обыкновенном солонцеватом центральной агроклиматической зоны Самарской области вносить фосфогипс в норме 4,5 т/га. Применение повышенной нормы фосфогипса (6,0 т/га) не обеспечивает существенную прибавку урожая, ведет к увеличению производственных затрат, снижению уровня рентабельности производства и нерациональному использованию мелиоранта.

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 // *Агрохимия*. 2011. № 9. С. 77–81.
2. Окорков В. В. Использование фосфогипса в земледелии // *Владимирский земледелец*. 2012. №4(62). С. 12–19.
3. Аканова Н. И. Фосфогипс нейтрализованный – перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия // *Плодородие*. 2013. №1. С. 2–7.
4. 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.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 5 изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
6. Троц Н. М., Горшкова О. В. Оценка состояния земель сельскохозяйственного назначения Самарской области, находящихся в зоне нефтедобычи // *Аграрная Россия*. 2018. № 4. С. 10–13. doi: 10.30906/1999-5636-2018-4-10-13.
7. Минеев В. Г. Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ. 332 с.
8. Liu X., He P., Jin J., Zhou W., Sulewski G., Phillips S. Yield gaps, indigenous nutrient supply, and nutrient use efficiency of wheat in China // *Agronomy Journal*. 2011. Vol. 103, Iss. 5. P. 1452–1463.
9. Габибов М. А. Агроэкологические приемы повышения продуктивности севооборота // *Вестник Воронежского ГАУ*. 2017. № 2. С. 40–44.
10. Вильдфлуш И. Р. Агрохимия удобрения и их применение в современной земледелии. Горки: БГСХА, 2019. 405 с.
11. Кирейчева Л. В., Нефедов 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.
12. Троц В. Б., Ахматов Д. А., Троц Н. М. Влияние минеральных удобрений на аккумуляцию тяжелых металлов в почве и фитомассе зерновых культур // *Зерновое хозяйство России*. 2015. № 1. С. 45–49.

References

1. Kolesnikov, S. I. & Aznauryan, D. K. et al. (2011). Possibility of using urea and phosphogypsum as ameliorants of oil-contaminated soils in a dummy 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. Akanova, N. I. (2013). Neutralized phosphogypsum – a promising agrochemical agent for agricultural intensification. *Plodorodie (Plodorodie)*, 1, 2–7 (in Russ.).
4. Akanova, N. I., Trots, N. M. & Trots, V. B. (2021). Agro-ecological efficiency of use of potassium-sodium clay fertilizer for crops in the conditions of the Middle Volga. *Samara AgroVector (Samara AgroVector)*, 1, 32–39 (in Russ.). doi: 10.55170/77962_2021_1_1_32
5. Dospikhov, B. A. (1985). *Methodology of field experience*. Moscow : Agropromizdat (in Russ.).
6. Trots, N. M. & Gorshkova, O. V. (2018). Assessment of the state of farm land in the Samara region located in the oil production zone. *Agramaya Rossiya (Agramaya Rossiya)*, 4, 10–13 (in Russ.). doi: 10.30906/1999-5636-2018-4-10-13
7. Mineev, V. G. *Agrochemistry and bionomic activity of potassium*. Moscow : Publishing House of Moscow State University (in Russ.).
8. Liu, X., He, P., Jin, J., Zhou, W., Sulewski, G. & Phillips, S. (2011). Yield gaps, indigenous nutrient supply, and nutrient use efficiency of wheat in China. *Agronomy Journal*, 103, 5, 1452–1463.
9. Gabibov, M. A. (2017). Agro-ecological management of increasing the productivity of crop rotation. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Vestnik of Voronezh State Agrarian University)*, 2, 40–44 (in Russ.).
10. Wildflush, I. R. (2019). *Agrochemistry of fertilizers and their use in current agriculture*. Gorki : Belarusian State Agricultural Academy (in Russ.).
11. Kireycheva, L. V., Nefedov, A. V. & Vinogradov, D. V. (2016). Substantiation of use of a fertilizer-meliogenic mixture based on drag turf 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.).
12. Trots, V. B., Akhmatov, D. A. & Trots N. M. (2015). Influence of mineral fertilizers on the accumulation of heavy metals in soil and phytomass of grain crops. *Zernovoie hoziaistvo Rossii (Grain Economy of Russia)*, 1, 45–49 (in Russ.).

Информация об авторах

Н. М. Троц – доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Н. В. Боровкова – аспирант;

А. А. Соловьев – аспирант.

Information about the authors

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

N. V. Borovkova – post-graduate student;

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 6.02.2022; одобрена после рецензирования 1.03.2022; принята к публикации 10.03.2022.

The article was submitted 6.02.2022; approved after reviewing 1.03.2022; accepted for publication 10.03.2022.