

УДК 631.811

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОСФОГИПСА НЕЙТРАЛИЗОВАННОГО НА ПОСЕВАХ РИСА В КАЧЕСТВЕ ПОЛИКОМПОНЕНТНОГО УДОБРЕНИЯ. СООБЩЕНИЕ 11

Шеуджен Асхад Хазретович
д.б.н., профессор, член-корр. РАН, зав. кафедрой агрохимии
SPIN-код: 9370-9411

Бондарева Татьяна Николаевна
к.с.-х.н., доцент
SPIN-код: 5621-0334
bondarevatatjna@mail.ru
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия
Всероссийский научно-исследовательский институт риса, Краснодар, Россия

Показана возможность использования фосфогипса нейтрализованного в качестве поликомпонентного удобрения на посевах риса. Замена в системе удобрения риса при внесении в основной прием 150 кг/га аммофоса на 40 кг/га карбамида и 4 т/га фосфогипса, внесенного весной, обеспечивает поддержание уровня содержания доступных растениям форм азота, фосфора и калия в почве и растениях, как и при внесении $N_{120}P_{80}K_{60}$. Внесение фосфогипса весной перед посевом менее эффективно, чем осенью под вспашку. При внесении фосфогипса весной 2013 г. нормой 4 т/га получена урожайность на 0,57 т/га или 8,98 % выше, чем в контроле, а в 2014 г. она не отличалась от полученной при внесении минеральных туков из расчета $N_{120}P_{80}K_{60}$. При осеннем применении фосфогипса прибавка урожая в 2014 г. составила 0,98 т/га или 12,6 %. Рост урожайности происходит в результате повышения выживаемости растений, озерненности метелки и массы зерна с растения. Применение фосфогипса нейтрализованного экономически оправдано. Условно чистый доход от применения фосфогипса вместо фосфорного удобрения (аммофос) на посевах риса в ФГУП РПЗ «Красноармейский» им. А.И. Майстренко Красноармейского района Краснодарского края при оптимальной норме составила 13139,7 руб. с 1 га

Ключевые слова: АЗОТ В ПОЧВЕ И РАСТЕНИЯХ, КАЛИЙ В ПОЧВЕ И РАСТЕНИЯХ, ПОЛИКОМПОНЕНТНОЕ УДОБРЕНИЕ, РИС, УРОЖАЙНОСТЬ, ФОСФОГИПС НЕЙТРАЛИЗОВАННЫЙ, ФОСФОР В ПОЧВЕ И РАСТЕНИЯХ

UDC 631.811

Agricultural sciences

USE OF NEUTRALIZED PHOSPHOGYPSUM AS MULTICOMPONENT FERTILIZER FOR RICE CROPS. MESSAGE 11

Sheudzhen Askhad Khazretovich
Dr.Sci.Biol., professor, corresponding member of R.A.S., head of the Agrochemistry department
RSCI SPIN-code: 9370-9411

Bondareva Tatyana Nikolaevna
Cand.Agr.Sci., assistant professor
RSCI SPIN-code: 5621-0334
bondarevatatjna@mail.ru
Kuban State Agricultural University, Krasnodar, Russia
All-Russian Rice Research Institute, Krasnodar, Russia

The article shows a possibility of using neutralized phosphogypsum as multicomponent fertilizer for rice crops. In the system of rice fertilization replace of 150kg/ha of ammophos during main application with 40 kg/ha of carbamide and 4 tons/ha of phosphogypsum applied in spring provides the same content of available forms of nitrogen, phosphorus and potassium in soil and plants as with application of $N_{120}P_{80}K_{60}$. Application of phosphogypsum in spring before sowing is less effective than application in autumn before plowing. When applying phosphogypsum in spring 2013 with a rate of 4 t / ha the obtained yield was 0.57 t / ha or 8.98% higher than in the control, and in 2014 it was not different from that obtained with the application of solid mineral fertilizers with a rate of $N_{120}P_{80}K_{60}$. With autumn application of phosphogypsum increase in yield in 2014 was 0.98 t / ha or 12.6%. Yield growth is the result of increasing the survival of plants, grain content in panicle and grain weight per plant. Use of neutralized phosphogypsum is economically feasible. Relative benefits of using phosphogypsum instead of phosphorus fertilizer (ammonium phosphate) on rice crops in the Federal State Unitary Enterprise SRSF "Krasnoarmeyskiy" named after A.I.Maystrenko, Krasnoarmeyskiy district of Krasnodar region at the optimal rate amounted to 13139.7 rubles per 1 ha

Keywords: NITROGEN IN SOIL AND PLANTS, POTASSIUM IN SOIL AND PLANTS, POLYCOMPONENT FERTILIZER, RICE, YIELD, NEUTRALIZED PHOSPHOGYPSUM, PHOSPHORUS IN SOIL AND PLANTS

Введение. Мировое производство фосфорных удобрений составляет около 200 млн. т в год. Сырьем для их производства служат природные минералы – апатиты или фосфориты, в состав которых помимо фосфора входят кремний, фтор, редкоземельные элементы. В качестве побочного продукта при производстве фосфорных удобрений образуется фосфогипс. При получении 1 т фосфорной кислоты образуется 3,6–6,2 т фосфогипса в пересчете на сухое вещество или от 7,5 до 8,4 т влажного фосфогипса. Основу фосфогипса составляет соль CaSO_4 , содержание которой достигает 94%, это 36-38 % (на сухое вещество) CaO и более 20% серы. По воздействию на почву он практически идентичен природному гипсу. В составе фосфогипса в качестве примесей присутствуют остатки фосфатов фосфорной кислоты (до 4 %, в т. ч. до 1,5 % водорастворимой), полуторные оксиды, соединения кремния, микропримеси редкоземельных элементов [1]. В связи с этим фосфогипс является одновременно мелиорантом и поликомпонентным удобрением.

Учитывая огромные объемы образующегося фосфогипса, актуальной проблемой является разработка способов его утилизации, технологии применения, транспортирования и хранения в отвалах. Одной из перспективных областей его применения является сельское хозяйство. Эффективное и экологически безопасное использование побочных продуктов производства минеральных удобрений справедливо связывают с проблемой рационального использования природных ресурсов. При этом решается комплекс важнейших задач: более полное использование сырьевых ресурсов и улучшение экологической обстановки в регионе.

Выращивание риса оказывает сильнейшее воздействие на почву. Почвы с рисовой специализацией имеют сильную степень антропогенного нарушения экологического равновесия. Так, после 15-летнего использования чернозема под рис отмечено значительное уплотнение и разагретирование компонентов микроструктур, угнетение биоты и уменьшение подвижности гумусово-

глинистого вещества, т. е. идет деградация гумусовых горизонтов. Преобладающими видами нарушения являются уплотнение, слитизация, осолонцевание, засоление, а также техногенное изменение стратиграфии и мощности гумусового профиля [7].

Фосфогипс в рисоводстве является и удобрением и почвоулучшателем. В отличие от других мелиорантов (торф, цеолиты, фосфориты, известняки) фосфогипс, запасы которого практически неисчерпаемы, не требует доработки и готов к применению. Доказано, что фосфогипс, в состав которого входят элементы почвоулучшения, действует на почву эффективнее природного гипса, т. к. лучше растворяется в почвенном растворе. Он быстрее восстанавливает физико-химические свойства почв, а также способствует повышению устойчивости растений к полеганию, болезням и вредителям. Его применение обеспечивает рост урожайности сельскохозяйственных культур не только за счет улучшения структуры почвы. Позитивное воздействие фосфогипса обеспечивается влиянием содержащимися в нем серой, фосфором, кальцием и другими элементами питания растений. В этой связи фосфогипс можно рассматривать как поликомпонентное удобрение [2, 3].

К настоящему времени накоплен значительный научно-методический опыт по применению в земледелии фосфогипса, свидетельствующий о том, что его включение в технологию возделывания сельскохозяйственных культур позволит не только использовать на 100 % фосфатное сырьё, но и получать высокий положительный эффект, обеспечивающий снабжение почв элементами питания; мобилизацию закреплённых почвенных фосфатов, увеличение содержания гумуса, возрастание биологической активности и снятие засоления почвы, улучшение её структуры, плотности сложения и водно-воздушного режима; повышение плодородия почв, урожайности сельскохозяйственных культур, качества продукции и экологической безопасности [6].

Исследования проводились с целью оценки влияния фосфогипса на: питательный режим почвы (содержание в почве N, P₂O₅, K₂O); рост и развитие растений риса (линейные параметры роста и накопление сухого вещества); содержание элементов минерального питания в растениях; урожай и качество зерна риса; вынос азота, фосфора и калия с урожаем и коэффициенты их использования из удобрений; экономическую эффективность применения фосфогипса нейтрализованного на посевах риса.

Методика. Полевые исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками на рисовой оросительной системе ФГУП РПЗ «Красноармейский» им. А.И. Майстренко Красноармейского района Краснодарского края. Территория хозяйства относится к Центральной агроклиматической зоне Краснодарского края.

Схема опыта по изучению эффективности фосфогипса включала 9 вариантов: 1) Контроль (без удобрений), 2) N_{18+55,2+46}P₈₀K₆₀ – контроль стандарт, 3) N_{18+55,2+46}K₆₀ – фон; 4) Фон + ФГ¹, 2 т/га весной перед посевом, 5) Фон + ФГ, 4 т/га весной перед посевом, 6) Фон + ФГ, 6 т/га весной перед посевом; 7) Фон + ФГ, 2 т/га осенью под основную обработку почвы, 8) Фон + ФГ, 4 т/га осенью под основную обработку почвы, 9) Фон + ФГ, 6 т/га осенью под основную обработку почвы. Площадь участков – 2500 м². Повторность вариантов в опыте – 4-х кратная. Агротехника проведения экспериментов общепринятая для данной зоны в соответствии с рекомендациями ВНИИ риса. Фосфогипс и минеральные удобрения (аммофос, хлористый калий, карбамид) вносились центробежными разбрасывателями с заделкой в почву на глубину 8-10 см. На вариантах 2–9 проведена азотная подкормка в фазе всходов и кущения растений риса. Посев проведен зерновой сеялкой рядовым способом, глубина заделки семян 0,5–1,0 см. Норма высева 7 млн. всхожих семян на 1 га. Предшественник – рис. Режим орошения – укороченное затопление. Биологическая продуктивность агроценоза учитывалась путем от-

¹ Здесь и далее ФГ – фосфогипс нейтрализованный ООО «ЕвроХим-БМУ».

бора растений с площади 1 м^2 в двух местах каждой делянки. Уборку урожая осуществляли в фазе полной спелости зерна прямым комбайнированием. Масса зерна пересчитана на стандартную влажность и чистоту.

Объектом исследования были сорт риса Рапан и фосфогипс нейтрализованный ООО «ЕвроХим-БМУ».

Параметры роста и развития растений определялись в пробах отобранных с $0,25 \text{ м}^2$. Густота стояния растений учитывалась путем их подсчета на площади $0,25 \text{ м}^2$ в 3-х местах на учетной делянке; линейные параметры растений – путем измерения; площадь листьев – весовым методом; сухая масса – путем взвешивания после 6 ч высушивания при температуре 105°C ; содержание в растениях общего азота – по Кьельдалю, фосфора – по Дениже, калия – на пламенном фотометре [4]; содержание в почве обменного аммония – в 2 % KCl вытяжке, подвижного фосфора и подвижного калия – по Чирикову [5]; $\text{pH}_{\text{водн}}$ – потенциометрическим методом, состав поглощенных оснований – по методу Шолленбергера [5]. Статистическая оценка результатов исследований выполнена с использованием метода дисперсионного анализа [8].

Результаты исследований. Почва опытного участка: рисовая луговая маломощная слабогумусная на аллювиальных тяжелых суглинках имеет следующий состав поглощенных катионов: Ca^{2+} – 29,4 мг-экв./100 г (82,33 %), Mg^{2+} – 3,2 (8,96 %), Na^+ – 1,34 (3,75 %), K^+ – 1,77 (4,96 %) мг-экв./100 г, что в сумме составило 35,71 мг-экв./100 г почвы. Содержание аммонийного азота – 3,0 мг/кг, подвижных соединений фосфора – 54,1, подвижного калия – 79,8 мг/кг, $\text{pH}_{\text{водн}}$ – 6,8.

Пищевой режим почвы. Реакция почвенного раствора слабокислая. После затопления независимо от внесения удобрений кислотность несколько увеличивается, но к фазе выметывания она вновь снижается. Из приведенных данных можно заключить, что внесения фосфогипса существенного влияния на динамику кислотности почвенного раствора не оказывает (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика рН почвенного раствора при внесении фосфогипса

Вариант	До посева	Выход в трубку	После уборки
Без удобрений	6,79	6,25	6,55
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	6,79	6,30	7,87
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	6,79	6,22	7,9
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	6,79	6,48	6,82
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	6,79	6,48	6,92
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	6,79	6,07	7,31
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	6,63	6,60	7,07
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	6,67	6,43	7,47
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	6,72	6,80	7,98

При внесении фосфогипса осенью реакция почвенного раствора весной более кислая, чем там, где он не применялся. В середине вегетационного периода кислотность почвенного раствора на вариантах с внесением минеральных удобрений и фосфогипса весной увеличивается. При осеннем применении фосфогипса подкисление происходит в меньшей степени, чем в названных выше вариантах.

После уборки урожая отмечено подщелачивание почвы. В наибольшей степени это происходит под воздействием минеральных удобрений и высоких норм фосфогипса, а также при осеннем внесении последнего.

Внесение фосфогипса нейтрализованного влияет на состав поглощенных оснований. После окончания вегетации риса в почвенном поглощающем комплексе отмечена тенденция к увеличению по сравнению с исходным доли катионов Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ и сокращению Na⁺ (таблица 2).

Внесение минеральных удобрений (N₁₂₀P₈₀) и фосфогипса способствует повышению содержания аммонийного азота в почве в большей мере, чем полное минеральное удобрение (N₁₂₀P₈₀K₆₀). В зависимости от нормы фосфогипса количество аммонийного азота в фазе выхода в трубку при весеннем внесении повышается на 23,3–37,0 %, а осеннем – 23,3 % (таблица 3).

Таблица 2 – Состав поглощенных оснований рисовой луговой почвы

Вариант	Содержание катионов, мг-экв./100 г				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	сумма
До внесения удобрений и фосфогипса					
Без удобрений	29,4	3,2	1,34	1,77	35,71
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	29,4	3,2	1,34	1,77	35,71
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	29,4	3,2	1,34	1,77	35,71
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	29,4	3,2	1,34	1,77	35,71
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	29,4	3,2	1,34	1,77	35,71
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	29,4	3,2	1,34	1,77	35,71
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	29,6	3,1	1,29	1,78	35,77
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	29,8	3,2	1,33	1,80	36,13
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	29,9	3,3	1,37	1,82	36,39
После уборки урожая риса					
Без удобрений	29,6	3,0	1,31	1,70	35,61
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	29,4	3,1	1,25	1,81	35,56
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	29,5	3,0	1,30	1,80	35,60
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	29,5	3,0	1,28	1,83	35,61
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	29,7	3,1	1,28	1,86	35,94
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	29,8	3,1	1,26	1,88	36,04
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	29,5	3,1	1,23	1,83	35,66
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	29,6	3,2	1,21	1,88	35,89
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	29,8	3,3	1,20	1,68	35,98

Воздействие фосфогипса на фосфорный режим почвы выражено ярче, чем на азотный режим. Его внесение осенью обеспечивало увеличение содержания подвижных фосфатов в почве весной на 3,0–4,8 мг/кг, что составляет 5,5–8,9 %. Влияние фосфогипса на этот показатель определяется нормой его внесения – чем она выше, тем значительнее увеличение (таблица 4).

Таблица 3 – Содержание аммонийного азота в рисовой луговой почве, мг/кг

Вариант	До посева	Выход в трубку	После уборки
Без удобрений	3,0	6,6	5,1
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	3,0	7,3	5,1
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	3,0	10,5	5,4
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	3,0	9,0	5,3
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	3,0	10,0	5,4
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	3,0	10,0	5,3
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	3,0	7,2	5,0
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	3,2	9,0	5,6
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	3,6	9,0	5,1
НСР ₀₅	0,4	1,5	0,3

Таблица 4 – Содержание подвижного фосфора в рисовой луговой почве при внесении фосфогипса, мг/кг

Вариант	До посева	Выход в трубку	После уборки
Без удобрений	54,1	63,6	50,5
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	54,1	90,1	55,8
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	54,1	64,6	51,9
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	54,1	97,5	63,8
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	54,1	98,3	93,2
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	54,1	100,8	100,2
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	57,1	105,0	100,1
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	58,6	109,2	103,6
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	58,9	110,0	106,4
НСР ₀₅	3,1	4,5	4,1

В фазе выхода в трубку обеспеченность растений риса фосфором выше в вариантах с фосфогипсом, чем с внесением полного минерального удобрения ($N_{120}P_{80}K_{60}$). При внесении фосфогипса весной количество подвижного фосфора по сравнению с внесением $N_{120}P_{80}K_{60}$ в почве увеличивается на 7,4 мг/кг при нормее 2 т/га, 8,2 – 4 т/га и 10,7 мг/кг при норме 6 т/га, т. е. соответственно на 8,2, 9,1 и 11,9 %. Влияние осеннего внесения фосфогипса более существенное, чем весеннего. Количество подвижных соединений фосфора в почве выше, чем в контроле на 14,9 мг/кг, 19,1 и 19,9 мг/кг или 16,5, 21,2 и 22,1 % соответственно при внесении 2, 4 и 6 т/га фосфогипса.

Анализ почвенных образцов отобранных после уборки урожая риса показал, что в почве количество подвижного фосфора увеличилось по сравнению с исходным содержанием в варианте с $N_{120}P_{80}K_{60}$ на 1,7 мг/кг, весеннем внесении фосфогипса – 9,7–46,1, осеннем – 46,0–52,3 мг/кг. При этом, чем выше норма фосфогипса, тем больше в почве содержалось подвижных соединений фосфора.

Внесение фосфогипса осенью слабо воздействует на содержание подвижного калия в почве. Увеличение его содержания весной при осеннем внесении фосфогипса не превышает 2,9 %, которое отмечено при норме 6 т/га (таблица 5). В середине вегетационного периода растений риса наибольшее количество подвижного калия отмечено в варианте «без удобрений» (86,3 мг/кг), при внесении $N_{120}P_{80}K_{60}$ – 83,4 и 6 т/га фосфогипса – 80,4 мг/кг. В других вариантах подвижного калия в почве было меньше. При этом применение фосфогипса обеспечивало улучшение условий питания растений риса калием, что выражалось в большем – на 4,0–6,4 %, чем в контроле ($N_{120}P_{80}K_{60}$) содержании подвижного калия в почве.

После уборки урожая риса содержание подвижного калия в почве в варианте с внесением $N_{120}P_{80}K_{60}$ было выше, чем с фосфогипсом, но различия не превышали 1,9–4,7 %.

Таблица 5 – Содержание подвижного калия в рисовой луговой почве, мг/кг

Вариант	До посева	Выход в трубку	После уборки
Без удобрений	79,8	86,3	76,3
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	79,8	75,6	82,5
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	79,8	83,4	78,1
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	79,8	78,8	78,6
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	79,8	79,1	79,0
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	79,8	79,7	79,8
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	77,8	78,6	79,1
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	81,2	79,6	80,0
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	82,1	80,4	80,9
НСР ₀₅	4,5	5,1	4,4

Таким образом, внесение фосфогипса положительно влияет на азотный, фосфорный и калийный режим почвы. В ней в зависимости от нормы фосфогипса в период вегетации риса возрастает по сравнению с вариантом N₁₂₀P₈₀K₆₀ содержание аммонийного азота на 23,3–37,0 %, подвижного фосфора – 8,2–22,1 % и подвижного калия на 4,0–6,4 %. После уборки урожая в почве, в которую вносился фосфогипс, содержание подвижного фосфора было выше, чем исходное. Это служит показателем возможного снижения нормы или даже исключения внесения фосфорного удобрения на следующий год.

Рост и развитие растений. Улучшение обеспеченности растений риса доступными формами азота, фосфора и калия при внесении фосфогипса в рисовую луговую почву вызвало изменение показателей, характеризующих их рост и развитие.

Анализ динамики увеличения высоты растений не выявил существенных различий по вариантам опыта (таблица 6). В первой половине онтогенеза только растения из неудобренного варианта по высоте были незначительно ниже, чем остальные.

Таблица 6 – Высота растений риса при внесении минеральных удобрений и фосфогипса, см

Вариант	Кущение (начало)	Кущение (полное)	Выход в трубку	Выметывание	Восковая спелость зерна
Без удобрений	30,92	49,54	61,26	75,37	81,05
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	31,76	53,76	65,57	75,43	84,33
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	31,06	52,06	64,21	76,16	84,15
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	31,12	52,02	65,45	78,60	83,95
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	32,23	52,68	65,76	75,98	84,75
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	34,33	53,62	66,53	77,23	84,10
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	31,30	53,09	66,10	76,11	84,75
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	31,55	54,00	65,72	73,54	84,35
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	31,79	53,21	66,35	73,58	84,73
НСР ₀₅	3,46	4,52	4,44	5,12	4,95

В отличие от высоты стебля различия по сухой массе растений отмечались в удобренных и неудобренном вариантах (таблица 7). Сухая масса растения из неудобренного варианта на протяжении всего онтогенеза была на 8,0–31,6 % меньше, чем контрольных растений. Наибольшее отставание в накоплении сухого вещества отмечалось в начале вегетации – до фазы выметывания. Недостаток фосфора, имевший место в варианте N₁₂₀K₆₀, негативно сказывался на накоплении сухого вещества растениями риса.

Внесение фосфогипса в количестве 2 т/га, как осенью, так и весной, хотя и улучшало условия питания растений по сравнению с естественным плодородием, но их сухая масса на протяжении всей вегетации все же была меньше, чем при внесении полного минерального удобрения (N₁₂₀P₈₀K₆₀).

Таблица 7 – Сухая масса растений риса при внесении минеральных удобрений и фосфогипса, г/растение

Вариант	Кущение (начало)	Кущение (полное)	Выход в трубку	Выметывание		Восковая спелость зерна		Полная спелость	
				метелка	растение	метелка	растение	метелка	растение
Без удобрений	0,13	0,39	1,00	0,19	1,23	1,42	2,30	2,00	4,12
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	0,19	0,57	1,20	0,32	1,78	1,49	2,50	2,86	4,78
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	0,18	0,50	1,10	0,28	1,64	1,45	2,48	2,79	4,80
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	0,18	0,51	1,20	0,30	1,72	1,47	2,43	2,84	4,72
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	0,19	0,59	1,25	0,33	1,76	1,52	2,55	2,97	4,75
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	0,17	0,59	1,23	0,29	1,78	1,51	2,53	2,84	3,73
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	0,18	0,58	1,28	0,32	1,73	1,49	2,44	2,87	4,86
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	0,20	0,59	1,31	0,34	1,85	1,55	2,59	2,99	4,93
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	0,17	0,57	1,29	0,29	1,81	1,51	2,55	2,98	3,86
НСР ₀₅	0,010	0,025	0,061	0,082	0,092	0,061	0,102	0,101	0,184

Аналогичным образом проявлялось действие высоких норм фосфогипса (6 т/га) независимо от сроков его внесения. Однако природа этого воздействия иная и обусловлена воздействием на почву и растения компонентов фосфогипса, действие которых в данном опыте не оценивалось. В частности это относится к сере, на долю которой в составе фосфогипса приходится более 20 %.

Наиболее интенсивно биосинтез органического вещества шел в растениях из вариантов с внесением фосфогипса в количестве 4 т/га, особенно при осеннем внесении. На протяжении всей вегетации сухая масса растений из этих вариантов была соответственно на 2,0–3,0 % и 3,5–9,2 % больше, чем при внесении полного минерального удобрения (N₁₂₀P₈₀K₆₀).

Площадь ассимиляционной поверхности, как ее размер, так и динамика нарастания, являются не только показателями роста растений, но и характеризуют их продуктивность. Недостаток и дисбаланс элементов минерального питания, наблюдаемый в вариантах «без удобрений» и $N_{120}K_{60}$ обуславливал более медленное по сравнению с контролем ($N_{120}P_{80}K_{60}$) увеличение площади листьев на растении и их быстрое отмирание (таблица 8).

Таблица 8 – Площадь листьев растений риса при внесении фосфогипса, $см^2/растение$

Вариант	Кушение	Выход в трубку	Выметывание	Восковая спелость зерна
Без удобрений	35,85	108,4	112,0	97,0
$N_{120}P_{80}K_{60}$ – контроль	44,20	146,8	156,3	110,8
$N_{120}K_{60}$ – фон	40,20	142,0	149,0	102,5
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 2 т/га весной	44,31	149,2	152,4	106,8
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 4 т/га весной	47,92	147,8	158,7	115,3
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 6 т/га весной	41,11	145,1	155,2	113,0
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 2 т/га осенью	45,08	150,4	155,1	107,4
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 4 т/га осенью	48,82	152,6	160,2	108,2
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 6 т/га осенью	43,18	151,8	156,1	107,9
НСР ₀₅	3,95	5,75	15,62	8,25

Внесение фосфогипса в количестве 2 т/га как весной, так и осенью обеспечивало для формирования ассимиляционной поверхности условия аналогичные с внесением полного минерального удобрения ($N_{120}P_{80}K_{60}$). При этом отмечена тенденция к образованию большей по площади листовой поверхности (особенно при осеннем внесении фосфогипса) до фазы выметывания и более медленное отмирание листьев впоследствии. Высокие нормы фосфогипса негативно сказываются на величине ассимиляционной

поверхности растений в большей мере, чем низкие. Особенно заметно его влияние в начале вегетации (фаза кущения) и при весеннем внесении.

При внесении фосфогипса в количестве 4 т/га формируется большая, чем в контроле площадь листьев на растении. Так, в фазе кущения она была больше, чем у контрольных растений на 8,4 % при весеннем внесении фосфогипса и 10,5 % – осеннем. Начиная с фазы выхода в трубку, различия постепенно сокращаются и становятся недостоверными.

Таким образом, лучшие условия для роста и развития растений риса складываются при внесении, особенно осенью, фосфогипса в количестве 4 т/га. Растения из этого варианта по высоте не отличались от контрольных, а по сухой массе и площади листьев даже несколько превосходили их.

Содержание элементов минерального питания в растениях риса. Как отмечено ранее при внесении фосфогипса совместно с азотно-калийным удобрением в нормах 2, 4 и 6 т/га содержание в почве доступных растениям форм азота, фосфора и калия такое же, как и при $N_{120}P_{80}K_{60}$. Вместе с тем в состав фосфогипса входят кальций, кремний, сера и микроэлементы, которые определяют активность всех физиолого-биохимических процессов в растениях. Показателем этого влияния является содержание в растениях таких органогенных элементов, как азот, фосфор и калий. Замена аммофоса фосфогипсом не изменяла характер динамики содержания в растениях этих элементов. В то же время отмечены некоторые различия с контролем растений из вариантов с фосфогипсом по содержанию азота, фосфора и калия в вегетативных органах и зерне риса (таблица 9–11).

В фазе всходов азота в растениях из вариантов с фосфогипсом содержалось на 0,05–0,15 % меньше, чем в контрольных ($N_{120}P_{80}K_{60}$). Причем, при осеннем внесении фосфогипса отмечались наибольшие отличия. Однако уже к фазе кущения различия в содержании азота растений из контроля ($N_{120}P_{80}K_{60}$) и вариантов с фосфогипсом сокращались до сотых долей процента. При этом эти различия были не столь однозначны, как в фа-

зе всходов: при внесении фосфогипса в норме 4 т/га как весной, так и осенью отмечена тенденция к более интенсивному, чем в контроле поглощению растениями азота из почвы. Отмеченные закономерности сохранялись до фазы полной спелости зерна (таблица 9).

Таблица 9 – Динамика содержания азота в растениях риса при внесении фосфогипса, % сухой массы

Вариант	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Выметывание	Полная спелость	
					листья+стебли	зерно
Без удобрений	2,40	1,36	0,81	0,86	0,56	1,18
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	2,65	1,94	0,94	0,98	0,64	1,22
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	2,50	1,89	0,95	0,97	0,63	1,21
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	2,55	1,91	0,93	0,95	0,63	1,28
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	2,65	1,98	0,95	0,98	0,62	1,36
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	2,60	1,96	0,90	0,96	0,61	1,29
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	2,45	1,88	0,94	0,97	0,62	1,29
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	2,53	1,95	0,97	1,00	0,59	1,39
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	2,50	1,90	0,93	0,98	0,60	1,30
НСР ₀₅	0,09	0,07	0,07	0,05	0,03	0,06

В фазе полной спелости зерна в вегетативных органах растений риса из вариантов с фосфогипсом азота содержалось на 0,01–0,05 % меньше, чем из контроля. Влияние фосфогипса на накопление азота в зерне было противоположным, а именно, его количество было больше, чем в контроле на 0,06–0,17 %. Больше всего азота накапливалось в зерне при внесении фосфогипса в количестве 4 т/га как осенью (+0,17 %), так и весной (+0,14 %).

Поступление фосфора в растения риса, как впрочем, и всех других элементов, зависит не только от их обеспеченности этим элементом, но и от сбалансированности минерального питания. Отметим, что с фосфогипсом, внесенным в количестве 4 т/га, в почву поступает 80 кг/га P_2O_5 , т. е. столько же, как и в контроле. В фазе всходов риса содержание фосфора в растениях из вариантов с внесением фосфогипса в количестве 4 т/га как осенью, так и весной, а также из контроля было одинаковым. При внесении 2 т/га и 6 т/га фосфогипса оно было на 0,01–0,05 % меньше. Далее, вплоть до фазы созревания, эти различия становились менее заметными (таблица 10).

Таблица 10 – Динамика содержания фосфора в растениях риса при внесении фосфогипса, % сухой массы

Вариант	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Выметывание	Полная спелость	
					листья+стебли	зерно
Без удобрений	0,65	0,46	0,30	0,27	0,25	0,49
$N_{120}P_{80}K_{60}$ – контроль	0,70	0,55	0,37	0,31	0,28	0,64
$N_{120}K_{60}$ – фон	0,64	0,50	0,34	0,27	0,23	0,53
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 2 т/га весной	0,67	0,53	0,36	0,30	0,28	0,59
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 4 т/га весной	0,71	0,60	0,39	0,32	0,24	0,63
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 6 т/га весной	0,70	0,56	0,38	0,34	0,26	0,59
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 2 т/га осенью	0,65	0,52	0,35	0,31	0,27	0,60
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 4 т/га осенью	0,70	0,59	0,38	0,33	0,23	0,63
$N_{120}K_{60}+$ ФГ, 6 т/га осенью	0,69	0,55	0,37	0,35	0,24	0,62
$НСП_{05}$	0,05	0,06	0,08	0,06	0,04	0,08

Внесение фосфогипса положительно отражалось на распределении фосфора между вегетативными органами растений и зерном. В вегетативных органах растений из этих вариантов фосфора содержалось на 0,01–0,05 % меньше, чем в контроле, и меньше всего – в вариантах с внесением фосфогипса в количестве 4 т/га как осенью, так и весной. При этом в зерне из этих вариантов содержание фосфора было лишь на 0,01 % меньше, чем в контроле. Эти отличия в накоплении в зерне фосфора при одинаковом его внесении в почву (P_{80} , фосфогипса 4 т/га осень, фосфогипс 4 т/га весна) обусловлены воздействием других элементов минерального питания, поступающих с фосфогипсом, в частности, серой, кремнием и микроэлементами.

Замена аммофоса фосфогипсом позитивно отразилась на поглощении растениями риса калия. Наиболее значительными различия этих вариантов с контролем были в фазе всходов. По мере роста растений они сокращались. При созревании в листостебельной массе растений из вариантов с фосфогипсом содержалось калия больше, чем в контроле на 0,02–0,07 %, а в зерне – на 0,02–0,03 %. Как в зерне, так и вегетативных органах больше всего калия накапливалось в растениях из вариантов с внесением фосфогипса в количестве 4 т/га, как весной, так и осенью (таблица 11).

Таким образом, внесение фосфогипса способствовало более интенсивному, чем в контроле ($N_{120}P_{80}K_{60}$), поступлению в растения риса азота, фосфора и калия. Больше всего их накапливалось в растениях из вариантов с внесением его из расчета 4 т/га как весной, так и осенью на фоне $N_{120}K_{60}$. Норма фосфогипса 2 т/га не компенсирует негативные последствия дисбаланса элементов питания в питательной среде по сравнению с контролем, а 6 т/га – тормозит поступление в растения азота, фосфора и калия.

Таблица 11 – Динамика содержания калия в растениях риса при внесении фосфогипса, % сухой массы

Вариант	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Выметывание	Полная спелость	
					листья + стебли	листья стебли
Без удобрений	2,80	2,76	2,50	2,10	1,45	0,30
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	2,70	2,88	2,64	2,90	1,90	0,36
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	2,90	2,84	2,62	2,70	1,70	0,32
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	2,94	2,85	2,60	2,88	1,88	0,34
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	3,10	2,86	2,67	2,89	1,92	0,38
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	3,11	2,85	2,66	2,90	1,90	0,36
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	2,95	2,86	2,62	2,89	1,90	0,35
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	2,98	2,89	2,68	2,92	1,96	0,39
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	2,96	2,87	2,67	2,88	1,97	0,36
НСР ₀₅	0,11	0,10	0,09	0,07	0,12	0,05

Урожайность и качество зерна риса. Отмеченные изменения в пищевом режиме почвы под рисом, а также росте растений под воздействием фосфогипса повлияли на величину урожайности.

Эффективность применения фосфогипса зависит от погодных условий и исходного состояния почвы. В 2013 г. внесение фосфогипса в количестве 2 и 6 т/га не вызывало достоверного снижения или увеличения урожайности риса, хотя и наблюдалась тенденция к ее уменьшению (на 2,05 %) в варианте с 2 т/га и повышению (на 2,05 %) – с 6 т/га (таблица 12). Наибольшая в опыте урожайность была в варианте с внесением 4 т/га фосфогипса – 6,92 т/га, что на 0,57 т/га или 8,98 % больше, чем в контроле (N₁₂₀P₈₀K₆₀). Рост урожайности произошел вследствие повышения выживаемости растений, озерненности метелки и массы зерна с растения.

Таблица 12 – Урожайность риса при внесении фосфогипса, 2013 г.

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка			
		т/га	%	т/га	%
Без удобрений	4,84	–	–	–	–
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	6,35	1,51	31,20	–	–
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	5,86	1,02	21,07	–0,49	–7,72
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	6,22	1,38	28,51	–0,13	–2,05
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	6,92	2,08	42,98	0,57	8,98
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	6,48	1,64	33,88	0,13	2,05
НСР ₀₅	0,42				

В 2014 г. урожайность риса при всех технологиях выращивания была выше, чем в 2013 г. (таблица 13). Достоверного снижения урожайности в вариантах с внесением фосфогипса по сравнению с полным минеральным удобрением выявлено не было. Это убедительно доказывает возможность замены дорогостоящего фосфорного удобрения фосфогипсом.

Таблица 13 – Урожайность риса при внесении фосфогипса, 2014 г.

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка			
		т/га	%	т/га	%
Без удобрений	5,37	–	–	–	–
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	7,77	2,40	44,69	–	–
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	7,75	2,38	44,32	–0,02	–0,26
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га весной	7,60	2,23	41,53	–0,17	–2,19
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га весной	7,68	2,31	43,02	–0,09	–1,16
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га весной	7,62	2,25	41,90	–0,15	–1,93
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га осенью	7,77	2,40	44,69	0,00	0,00
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осенью	8,75	3,38	62,94	0,98	12,61
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га осенью	8,13	2,76	51,40	0,36	4,63
НСР ₀₅	0,32				

Наряду с нормой эффективность применения фосфогипса определяется сроком его внесения. Наибольший урожай, независимо от нормы, получен при его внесении осенью под вспашку. Норма 2 т/га обеспечивает уровень доступности растениям риса фосфора, как фосфорные удобрения из расчета P_{80} . При нормах 4 и 6 т/га отмечен достоверный рост урожайности на 0,98 и 0,36 т/га соответственно. Рост урожайности обусловлен лучшей выживаемостью растений и увеличением продуктивности главной метелки (таблица 14).

Таблица 14 – Густота стояния растений при внесении фосфогипса

Вариант	Начало кущения (4-5 листьев)	Восковая спелость зерна
Без удобрений	378	265
$N_{120}P_{80}K_{60}$ – контроль	377	278
$N_{120}K_{60}$ – фон	371	274
$N_{120}K_{60} + \text{ФГ}$, 2 т/га весной	367	277
$N_{120}K_{60} + \text{ФГ}$, 4 т/га весной	380	280
$N_{120}K_{60} + \text{ФГ}$, 6 т/га весной	357	285
$N_{120}K_{60} + \text{ФГ}$, 2 т/га осенью	389	297
$N_{120}K_{60} + \text{ФГ}$, 4 т/га осенью	423	297
$N_{120}K_{60} + \text{ФГ}$, 6 т/га осенью	385	289
$НСП_{05}$	22	12

Рост урожайности не сопровождается снижением качества зерна. В вариантах с применением фосфогипса по сравнению с полным минеральным удобрением повышается масса 1000 зерен, стекловидность зерновок, отношение l/b , пленчатость.

Таким образом, полученные данные указывают на возможность использования фосфогипса нейтрализованного в качестве поликомпо-

нентного удобрения на посевах риса. Замена в системе удобрения риса при внесении в основной прием 150 кг/га аммофоса на 40 кг/га карбамида и 4 т/га фосфогипса, внесенного весной и особенно осенью, обеспечивает более высокий уровень содержания доступных растениям форм азота, фосфора и калия в почве, чем при внесении $N_{120}P_{80}K_{60}$. Внесение фосфогипса весной перед посевом менее эффективно, чем осенью под вспашку. Так, при внесении фосфогипса весной нормой 4 т/га в 2013 г. получена урожайность на 0,57 т/га или 8,98 % выше, чем в контроле, а в 2014 г. – она не отличалась от полученной при внесении минеральных туков из расчета $N_{120}P_{80}K_{60}$. При осеннем применении фосфогипса прибавка урожая в 2014 г. составила 0,98 т/га или 12,6 %. Рост урожайности происходит в результате повышения выживаемости растений, озерненности метелки и массы зерна с растения.

Вынос элементов питания и коэффициенты их использования из удобрений. Внесение минеральных удобрений и фосфогипса способствует росту урожайности и интенсивному потреблению растениями азота, фосфора и калия. Вследствие этого возрастал их вынос с урожаем и затраты на его формирование, а также повышалась эффективность использования удобрений.

Вынос азота с урожаем в вариантах с фосфогипсом повышался по сравнению с контролем (121,64 кг/га) на 7,24–11,38 кг/га или 5,95–9,36 % при весеннем внесении и на 2,68–34,06 кг/га или 2,20–28,00 % – осеннем. Затраты на формирование 1 ц зерна увеличивались при этом на 0,03–0,21 кг или 1,91–13,38 % по сравнению с контролем.

При внесении фосфогипса азот из удобрения используется полнее, чем при внесении одних минеральных удобрений. Коэффициент использования азота из удобрения был на 6,03–28,38 % выше, чем при внесении аммофоса, карбамида и хлористого калия ($N_{120}P_{80}K_{60}$), где он составлял 31,77 %. Наиболее полно используется азот при внесении фосфогипса в

количестве 4 и 6 т/га: соответственно на 9,48 % и 7,66 % при применении весной и 38,38 % и 15,56 % осенью.

Хозяйственный вынос фосфора при внесении фосфогипса весной уменьшался по сравнению с контролем (61,48 кг/га) на 2,04–2,65 кг/га или 3,32–4,31 %. При осеннем его использовании вынос этого элемента сокращался на 4,37 кг/га (7,11 %) в варианте с нормой 2 т/га и повышался на 6,93 кг/га (11,27 %) и 2,78 кг/га (4,52 %) соответственно при норме 4 и 6 т/га. На формирование 1 ц зерна в вариантах с внесением фосфогипса затрачивалось фосфора незначительно меньше (на 1,27–6,33 %), чем в контроле (0,79 кг/ц).

При высоких нормах фосфогипса (6 т/га) коэффициент использования фосфора был ниже, чем в контроле (11,69 %), а низких и средних (2 и 4 т/га) – выше. Наиболее полно – 20,35 %, использовался фосфор в варианте с внесением фосфогипса осенью в количестве 4 т/га.

Влияние фосфогипса и минеральных удобрений на вынос калия аналогичен их воздействием на фосфор. Наибольшим, превышающим контроль (159,45 кг/га) на 27,36 кг/га (17,17 %) и 12,45 кг/га (7,81 %), вынос калия был при внесении осенью соответственно 4 и 6 т/га фосфогипса. Обращает на себя внимание тот факт, что вынос калия с урожаем значительно превосходит его поступление с удобрением. Это значит – используются запасы этого элемента из почвы, что с течением времени приведет к ее обеднению им. Затраты калия на формирование 1 ц зерна по вариантам опыта различаются незначительно.

Таким образом, внесение фосфогипса отражается на использование растениями азота, фосфора и калия из удобрений. Под его влиянием вынос азота по сравнению с контролем увеличивался на 2,2–28,0 %, затраты на формирование 1 ц зерна – 1,91–13,38 % и использование из удобрений на 2,23–28,38 %. Вынос фосфора увеличивался только при внесении фосфогипса осенью в количестве 4 т/га (11,27 %) и 6 т/га (4,52 %), затраты элемента на формирование 1 ц зерна при этом несколько снижались, а коэффициент его

использования из удобрений – повышался при норме 4 т/га на 8,66 %. С урожаем калия во всех вариантах, включая контроль, выносится больше, чем поступает с удобрением, что свидетельствует об отрицательном балансе этого элемента в почве. Наибольшее его количество выносилось с урожаем при внесении фосфогипса осенью в количестве 4 и 6 т/га, которое соответственно на 16,16 и 7,81 % больше, чем в контроле. Затраты элемента на формирование 1 ц зерна при этом существенно не увеличивались.

Экономическая эффективность. Условно чистый доход от применения фосфогипса вместо фосфорного удобрения (аммофос) на посевах риса в ФГУП РПЗ «Красноармейский» им. А.И. Майстренко Красноармейского района Краснодарского края составила 5333,5 и 13139,7 руб. с 1 га соответственно в 2013 и 2014 г. (таблица 15).

Таблица 15 – Экономическая эффективность применения фосфогипса нейтрализованного на посевах риса

Показатель	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ (контроль)		N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га осень		Отклонение от контроля	
	2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.
Урожайность риса, т/га	6,35	7,77	6,92	8,75	+0,57	+0,98
Затраты на удобрения и их внесение, руб./га	4139,04	5045,5	5532,5	6625,4	+1393,5	+1579,9
Цена реализации 1 ц риса (средняя по хозяйству), руб.	1180	15020	1180	15020	–	–
Сумма реализации с 1 га, руб.	74930	116705,4	81656	131425,0	+6726	+14719,6
Условно чистый доход с 1 га, руб.	–	–	–	–	+5332,5	+13139,7

Выводы. В процессе разработки новых элементов агротехники выращивания риса, направленных на повышение эффективности производства зерна в Краснодарском крае, снижение затрат на производство культуры, сохранение и увеличение плодородия почв рисовых полей проводились агроэкологическая оценка фосфогипса нейтрализованного при его использовании в качестве поликомпонентного удобрения установлено:

1. Внесение фосфогипса положительно влияет на азотный, фосфорный и калийный режим почвы. В ней, в зависимости от нормы фосфогипса, в период вегетации риса возрастает по сравнению с вариантом $N_{120}P_{80}K_{60}$ содержание аммонийного азота на 23,3–37,0 %, подвижного фосфора – 8,2–22,1 % и подвижного калия на 4,0–6,4 %. После уборки урожая риса в почве, в которую вносился фосфогипс, содержание подвижного фосфора выше, чем было исходное. Это показатель возможного снижения нормы или даже исключение внесения фосфорного удобрения на следующий год.

2. Лучшие условия для роста и развития растений риса складываются при внесении, особенно осенью, фосфогипса из расчета 4 т/га. Растения из этого варианта по высоте не отличались от контрольных, а по сухой массе и площади листьев несколько превосходят их.

3. Внесение фосфогипса ($N_{120}K_{60}+ФГ$) способствует более интенсивному, чем в контроле ($N_{120}P_{80}K_{60}$), поступлению в растения риса азота, фосфора и калия. Больше всего их накапливается в растениях из вариантов с внесением как весной, так и осенью фосфогипса из расчета 4 т/га на фоне $N_{120}K_{60}$. Норма фосфогипса 2 т/га не устраняет негативные последствия дисбаланса элементов питания в питательной среде по сравнению с контролем, а 6 т/га – тормозит поступление в растения азота, фосфора и калия.

4. Замена в системе удобрения риса при внесении в основной прием 150 кг/га аммофоса на 40 кг/га карбамида и 4 т/га фосфогипса обеспечивает более высокий уровень содержания доступных растениям форм азота, фосфора и калия в почве, чем при внесении $N_{120}P_{80}K_{60}$. Внесение

фосфогипса весной перед посевом менее эффективно, чем осенью под вспашку. При внесении фосфогипса весной 2013 г. нормой 4 т/га получена урожайность на 0,57 т/га или 8,98 % выше, чем в контроле, а в 2014 г. – она не отличалась от полученной при внесении минеральных туков из расчета $N_{120}P_{80}K_{60}$. При осеннем применении фосфогипса прибавка урожая в 2014 г. составила 0,98 т/га или 12,6 %. Рост урожайности происходит в результате повышения выживаемости растений, озерненности метелки и массы зерна с растения.

5. В вариантах с использованием фосфогипса ($N_{120}K_{60}+ФГ$) по сравнению с полным минеральным удобрением повышаются масса 1000 зерен, стекловидность зерновок, отношение l/b , пленчатость.

6. Под влиянием фосфогипса увеличивается по сравнению с контролем вынос азота на 2,2–28,0 %, затраты на формирование 1 ц зерна – 1,91–13,38 % и использование его из удобрений на 2,23–28,38 %. Вынос фосфора повышается только при внесении фосфогипса осенью в количестве 4 т/га (+11,27 %) и 6 т/га (+4,52 %), затраты элемента на формирование 1 ц зерна при этом несколько снижаются, а коэффициент использования из удобрений повышается при норме фосфогипса 4 т/га на 8,66 %. С урожаем калия выносятся во всех вариантах, включая контроль, больше, чем поступает с удобрением, что свидетельствует об отрицательном балансе этого элемента в почве. Наибольшее его количество выносятся с урожаем при внесении фосфогипса осенью в количестве 4 и 6 т/га, которое соответственно на 16,16 и 7,81 % больше, чем в контроле. Затраты элемента на формирование 1 ц зерна при этом существенно не увеличивались.

7. Условно чистый доход от применения фосфогипса вместо фосфорного удобрения (аммофос) на посевах риса в ФГУП РПЗ «Красноармейский» им. А.И. Майстренко Красноармейского района Краснодарского края при оптимальной норме составила 5332,5–13139,7 руб. с 1 га.

Литература

1. Белюченко, И.С. Экологические особенности фосфогипса и целесообразность его использования в сельском хозяйстве / И.С. Белюченко, Е.П. Добрыдnev, Е.И. Муравьев // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства (с участием ученых Украины и Белоруссии). 350044, Краснодар, ул. Калинина, 13., 2010. С. 13-22.
2. Кизинек, С.В., Эффективность различных форм кальцийсодержащих удобрений на продуктивность риса / С.В. Кизинек, М.Ю. Локтионов // Плодородие. – 2013. – № 1. – С. 14-16.
3. Кизинек, С.В. Эффективность применения фосфогипса как комплексного удобрения в рисовых севооборотах на лугово-черноземных почвах / С.В. Кизинек, А.Х. Шеуджен, М.Ю. Локтионов. // XXI: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер.: экология. – 2012. – № 02(06). – С. 272–278.
4. Куркаев, В.Т. Агрохимия: учеб. пособие для вузов / В.Т. Куркаев, А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП "Адыгея", 2000. – 552 с.
5. Методические указания по проведению агрохимического обследования и анализа длительно затопляемых почв / С.А. Рябцова [и др.] – Краснодар, 2012. – 51 с.
6. Муравьев, Е.И. Перспективы использования фосфогипса в сельском хозяйстве / Е.И. Муравьев, Е.П. Добрыдnev, И.С. Белюченко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 31-39.
7. Система рисоводства Краснодарского края / под общ. ред. Е.М. Харитонов. – Краснодар, 2011. – 316 с.
8. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 2. Методика агрохимических исследований / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.

References

1. Belyuchenko, I.S. Ekologicheskiye osobennosti fosfogipsa i tselesoobraznost' yego ispol'zovaniya v sel'skom khozyaystve / I.S. Belyuchenko, Ye.P. Dobrydnev, Ye.I. Murav'yev // Problemy rekul'tivatsii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva (s uchastiyem uchenykh Ukrainy i Belorussii). 350044, Krasnodar, ul. Kalinina, 13., 2010. S. 13-22.
2. Kizinek, S.V., Effektivnost' razlichnykh form kal'tsiysoderzhashchikh udobreniy na produktivnost' risa / S.V. Kizinek, M.YU. Loktionov // Plodorodiye. – 2013. – № 1. – S. 14-16.
3. Kizinek, S.V. Effektivnost' primeneniya fosfogipsa kak kom-pleksnogo udobreniya v risovykh sevooborotakh na lugovo-chernozemnykh pochvakh / S.V. Kizinek, A.KH. Sheudzhen, M.YU. Loktionov. // KHKH: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. Ser.: ekologiya. – 2012. – № 02(06). – S. 272–278.
4. Kurkayev, V.T. Agrokimiya: ucheb. posobiye dlya vuzov / V.T. Kurkayev, A.KH. Sheudzhen. – Maykop: GURIPP "Adygeya", 2000. – 552 s.
5. Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu agrokhimicheskogo obsledovaniya i analiza dlitel'no zatoplyayemykh pochv / S.A. Ryabtsova [i dr.] – Krasnodar, 2012. – 51 s.

6. Murav'yev, Ye.I. Perspektivy ispol'zovaniya fosfogipsa v sel'skom khozyaystve / Ye.I. Murav'yev, Ye.P. Dobrydnev, I.S. Belyuchenko // Ekologicheskiy vestnik Severnogo Kavkaza. – 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 31-39.

7. Sistema risovodstva Krasnodarskogo kraya / pod obshch. red. Ye.M. Kharitnova. – Krasnodar, 2011. – 316 s.

8. Sheudzhen A.KH. Agrokimiya. Chast' 2. Metodika agrokhimicheskikh isledovaniy / A.KH. Sheudzhen, T.N. Bondareva. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – 703 s.