

УДК 631.811

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

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

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

За последние 15 лет вследствие отчуждения с урожаем культур рисового севооборота, а также со сбросными и фильтрационными водами в почвах рисовых оросительных систем Краснодарского края содержание подвижных форм бора сократилось на 10 %, кобальта – 14 %, марганца – 10 %, меди – 7 %, молибдена – 15 %, цинка – 6 %. Наблюдается интенсивное обеднение почвы кальцием и серой. Необходимость применения микроудобрений под эту культуру диктуется также снижением в затопленной почве подвижности большинства микроэлементов. Частично проблема решается использованием фосфогипса нейтрализованного – побочного продукта производства экстракционной фосфорной кислоты. При его внесении в количестве 1 т/га на поле поступает 265 кг – Са, 215 – S(общ.), 20 – P₂O₅ и 9,8 кг SiO₂, т. е. компенсируются потери кальция из рисовых почв, а также решается проблема серного, кремниевого и частично фосфорного удобрений. Приводятся данные, указывающие на возможность использования фосфогипса нейтрализованного в качестве поликомпонентного удобрения на посевах риса. Фосфогипс способствует снижению изреживаемости растений риса в онтогенезе, вследствие чего формируется более плотный агроценоз: густота стояния растений здесь на 24–25 шт./м² больше, чем при внесении N₁₂₀P₈₀K₆₀. Растения с такого агрофона по высоте и площади листьев не отличаются от контрольных (N₁₂₀P₈₀K₆₀), а по сухой массе превышают их на 2–6 %. При системе удобрения риса N₁₂₀P₈₀K₆₀ внесение в основной прием 4 т/га фосфогипса обеспечивает уровень содержания фосфора в почве и растениях, как и внесение 150 кг/га аммофоса. Урожайность риса при этом увеличивается на 0,57 т/га или 8,98 %. Рост урожайности

UDC 631.811

Agricultural sciences

USE OF NEUTRALIZED PHOSPHOGYPSUM AS A MULTICOMPONENT FERTILIZER FOR RICE CROPS. MESSAGE 1

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 Research Institute of rice, Krasnodar, Russia

Over the past 15 years due to removal with crops of rice crop rotation, as well as with field waste and seepage water content of mobile forms of boron in soils of rice irrigation systems in the Krasnodar region decreased by 10 %, cobalt by 14 %, manganese by 10 %, copper by 7 %, molybdenum by 15 % zinc by 6 %. Impoverishment of soil with calcium and sulfur is observable. Need of using micronutrients for this crop is also determined by lowering mobility of most microelements in flooded soils. Partly this problem can be solved by use of neutralized phosphogypsum – waste product of wet-process phosphoric acid. With its application in dose of 1 t/ha, field receives 265 kg of Ca, 215 kg of S (general) 20 kg of P₂O₅ and 9.8 kg of SiO₂, so it compensates for the loss of calcium from the rice soil, as well as solves the problem of sulfur, silicon and partly phosphorus fertilizers. Data showing possibility of use of neutralized phosphogypsum as multicomponent fertilizer for rice crops are given. Phosphogypsum reduces sparseness of rice plants in ontogeny, thus forming a dense agro-cenosis: plant density is 24-25 pcs./m² that is higher than on application of N₁₂₀P₈₀K₆₀. Plants with such agricultural background by their height and leaf area did not differ from control ones (N₁₂₀P₈₀K₆₀), and their dry weight was higher by 2-6 %. With fertilizer system N₁₂₀P₈₀K₆₀ application of 4 t/ha of phosphogypsum during main fertilizer treatment provides the same level of phosphorus content in the soil and plants, as application of 100 kg/ha of ammophos. Rice yield increases by 0,57 t/ha or 8,98 %. Yield growth is the result of increasing survival capacity of plants, seed setting of panicle and weight of grain per plant

происходит в результате повышения выживаемости растений, озерненности метелки и массы зерна с растения

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

Keywords: NITROGEN IN SOIL AND PLANTS, POTASSIUM IN SOIL AND PLANTS, POLY-COMPONENT FERTILIZER, RICE, YIELD, NEUTRALIZED PHOSPHOGYPSUM, PHOSPHORUS IN SOIL AND PLANTS

Введение. Оптимизация питания сельскохозяйственных растений – главное условие высокой продуктивности и стабильности отечественного земледелия, решения проблемы продовольственной безопасности страны. Крайне низкий уровень применения минеральных и органических удобрений, привел к ухудшению реакции почвенного раствора и резко отрицательному балансу элементов питания в почве. В последние годы в Краснодарском крае на один гектар посевов риса вносится в среднем 170–200 кг минеральных удобрений, а в 80-е годы прошлого века эта цифра составляла 330-350 кг.

Коренной недостаток существующих систем удобрений в рисоводстве – их несбалансированность по элементам питания. Как правило, вносят только азот и фосфор, реже – калий, в то время как для роста и развития растений риса помимо указанных макроэлементов необходимы еще мезо- и микроэлементы – сера, железо, бор, кобальт, марганец, медь, молибден, цинк. В результате этого не обеспечивается должный уровень рационального минерального питания растений, сбалансированного по всем элементам, необходимым для их жизнедеятельности.

Необходимо отметить, что проблема недостатка микроэлементов в рисоводстве с каждым годом приобретает все большую актуальность, т. к. ежегодно все большее их количество отчуждается из почвы рисового поля с урожаем, а также со сбросными и фильтрационными водами. По нашим данным, за последние 15 лет в почвах рисовых оросительных систем Краснодарского края содержание подвижных форм бора сократилось на 10 %,

кобальта – 14 %, марганца – 10 %, меди – 7 %, молибдена – 15 %, цинка – 6 %. Растения риса практически всегда положительно отзываются на внесение микроудобрений. Необходимость их применения под эту культуру диктуется также снижением в затопленной почве подвижности большинства из микроэлементов за счет образования недоступных растениям соединений – гидрокарбонатов, сульфидов, фосфидов [12]. В результате этого не только снижается продуктивность сельскохозяйственных земель, но и происходит их экологическая деградация. Исследования группы мониторинга рисовых агроландшафтов ВНИИ риса убедительно доказали интенсивное обеднение почвы кальцием, а агрохимическое обследование почв выявило существенное снижение содержания в рисовых почвах серы [4, 8, 9].

Частично проблему обеспечения элементами минерального питания и регулирования физико-химических свойств почв возможно решить при использовании побочных продуктов производства, в частности минеральных удобрений, применение которых существенно снижает затраты на производство сельскохозяйственной продукции. При этом обязательным условием использования таких продуктов является подготовка их на базе образующих предприятий в удобрительные средства с оптимальным химическим составом, соответствующем требованиям сельского хозяйства по агрономической эффективности, физико-химическими свойствами, гранулометрическому, химическому составу. Такие продукты могут и должны проявлять себя как благоприятный экологический фактор.

В 1992 г. в Российской Федерации была принята Национальная научно-техническая программа «Глубокая переработка сырья и новые материалы», в которой обращается внимание на разработку и испытание эффективных и экологически безопасных технологий. Применение попутных продуктов промышленного производства минеральных удобрений справедливо связывают с проблемой рационального использования природных ресурсов. При этом решается комплекс задач и проблем: более полное ис-

пользование сырьевых ресурсов, создание производства новых продуктов, улучшение экологической обстановки в регионе.

Многие из перечисленных функций в определенной мере может выполнять фосфогипс нейтрализованный, получаемый ООО «ЕвроХим–БМУ», при его использовании в качестве средства повышения плодородия различных почв – улучшения их физико-химических, агрофизических свойств, структуры и питательного режима. Особое значение имеет применение фосфогипса с этой целью на солонцах и солонцовых почвах [7].

Фосфогипс нейтрализованный ООО «ЕвроХим–БМУ» является побочным продуктом производства экстракционной фосфорной кислоты, в соответствии с техническими условиями ТУ 113-08-418-94 доля основного вещества ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – 92%. В основе производства лежат два одновременно протекающих процесса: растворение фосфатного сырья (апатита) в смеси серной и фосфорной кислот и кристаллизация сульфата кальция. Свободную фосфорную кислоту, содержащуюся в фосфогипсе, нейтрализуют известью. Нейтрализация пульпы известью позволяет также скорректировать pH до нейтральных значений (pH 7-8), что благоприятно для окружающей среды [2].

Фосфогипс нейтрализованный обладает хорошими физико-механическими свойствами (не слеживается, сыпуч, не гигроскопичен), позволяющими использовать его по технологии хранения, транспортирования и внесения слабопылящих химических мелиорантов. Он может быть использован в качестве химического мелиоранта не только на солонцовых почвах рисовых полей, но и найти широкое применение в качестве поликомпонентного удобрения в рисоводстве. Фосфогипс нейтрализованный содержит более: 37 % кальция, 21 – серы, 2 – фосфора, 1 % кремния, в небольших количествах необходимые и незаменимые для жизнедеятельности растений макро-, мезо-, микро- и ультрамикрорэлементы [6]. При внесении фосфогипса в количестве 1 т/га на поле поступает 265 кг – Ca, 215 –

S(общ.), 20 – P₂O₅ и 9,8 кг SiO₂. Использование фосфогипса нейтрализованного на посевах риса позволит компенсировать потери кальция из рисовых почв, решить проблему серного, кремниевого и частично фосфорного удобрений. Иначе – фосфогипс можно использовать в качестве поликомпонентного удобрения.

В связи с этим актуальной задачей является эколого-агрохимическая оценка фосфогипса нейтрализованного и разработка технологии его применения в рисоводстве.

Цель работы: оценить влияние фосфогипса нейтрализованного при его использовании в качестве поликомпонентного удобрения на питательный режим рисовой луговой почвы и урожайность риса.

Методика. Полевые опыты проводили на луговой маломощной слабогумусной почве на аллювиальных тяжелых суглинках в соответствии с общепринятыми методиками на рисовой оросительной системе ФГУП РПЗ «Красноармейский» им. А.И. Майстренко Красноармейского района Краснодарского края. Схема опыта включала 6 вариантов: 1) Контроль (без удобрений); 2) N₁₂₀P₈₀K₆₀ – контроль стандарт; 3) N₁₂₀K₆₀ – фон; 4) Фон + ФГ¹ 2 т/га; 5) Фон + ФГ 4 т/га; 6) Фон + ФГ 6 т/га.

Посев проведен зерновой сеялкой рядовым способом, глубина заделки семян 0,5–1,0 см. Предшественник – рис. Норма высева 7 млн. всхожих семян на 1 га. Режим орошения – укороченное затопление. Фосфогипс и минеральные удобрения вносились перед посевом с заделкой в почву на глубину 8-10 см: в варианте N₁₂₀P₈₀K₆₀ – аммофос и хлористый калий из расчета N₁₈P₈₀K₆₀, в остальных – карбамид и хлористый калий из расчета N₁₈K₆₀. На вариантах 2–6 проведены две подкормки карбамидом в фазе всходов и кущения растений риса. Площадь делянок – 2500 м². Повторность вариантов в опыте 4-х кратная. Агротехника проведения экспериментов общепринятая для данной зоны в соответствии с рекомендациями

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

ВНИИ риса. Биологическая продуктивность агроценоза учитывалась путем отбора 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 [3]; 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 [10].

Результаты исследований. Почва опытного участка: рисовая луговая маломощная слабогумусная на аллювиальных тяжелых суглинках имеет следующий состав поглощенных катионов: Ca^{2+} – 23,6 мг-экв./100 г (69,4 %), Mg^{2+} – 6,80 (20,00 %), Na^+ – 1,48 (4,40 %), K^+ – 2,13 (6,20 %) мг-экв./100 г, что в сумме составило 34,01 мг-экв./100 г почвы. Содержание аммонийного азота – 4,6 мг/кг, нитратного азота – 8,4, подвижного фосфора – 46,2, подвижного калия – 236,0 мг/кг, $\text{pH}_{\text{водн}}$ – 6,8.

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

Таблица 1 - Динамика $pH_{\text{водн.}}$ почвенного раствора при внесении фосфогипса нейтрализованного

Вариант	До посева	Фаза вегетации риса		
		кущение	выметывание	созревание
Без удобрений	6,81	6,08	6,13	6,64
$N_{120}P_{80}K_{60}$ – контроль	6,81	6,07	6,24	6,70
$N_{120}K_{60}$ – фон	6,81	6,40	6,31	6,74
$N_{120}K_{60}$ + ФГ, 2 т/га	6,81	6,12	6,31	6,79
$N_{120}K_{60}$ + ФГ, 4 т/га	6,81	6,06	6,28	6,64
$N_{120}K_{60}$ + ФГ, 6 т/га	6,81	6,05	6,24	6,58

Применение фосфогипса, как и минеральных удобрений, оказывало влияние на питательный режим рисовой луговой почвы. Наблюдения за динамикой аммонийного и нитратного азота выявили влияние на их содержание в почве минеральных удобрений и фосфогипса (таблица 2). Позитивное влияние фосфогипса и удобрений обнаруживалось уже в фазе кущения растений риса. В это время в вариантах с внесением фосфогипса содержание аммонийного азота в почве было на 3,01–4,51 % больше, чем в контроле ($N_{120}P_{80}K_{60}$). В фазе выметывания растений риса достоверно больше, чем в контроле содержание аммонийного азота в почве было только при внесении 4 и 6 т/га фосфогипса – соответственно на 7,69 и 5,77 %. В конце вегетации отличия вариантов с фосфогипсом от контроля сокращались до 2,38–4,76 %.

На содержание нитратного азота в рисовой луговой почве фосфогипс влиял также как и на нитратный, с той лишь разницей, что достоверные отличия отмечены лишь при его внесении в количестве 4 т/га.

Таблица 2 - Динамика содержания аммонийного (N-NH₄) и нитратного (N-NO₃) азота в рисовой луговой почве при внесении фосфогипса нейтрализованного, мг/кг

Вариант	До посева	Фаза вегетации риса			
		всходы	кущение	выметывание	созревание
N-NH ₄					
Без удобрений	4,6	18,2	22,0	16,6	7,2
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	4,6	25,7	26,6	20,8	8,4
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	4,6	26,2	27,2	21,5	8,8
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	4,6	25,8	27,4	21,2	8,6
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	4,6	26,2	27,8	22,4	8,8
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	4,6	26,4	27,6	22,0	8,7
НСР ₀₅		0,99	0,79	0,81	0,30
N-NO ₃					
Без удобрений	8,4	6,2	0,4	нет	3,8
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	8,4	7,0	0,5	нет	4,2
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	8,4	7,1	0,6	следы	4,4
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	8,4	6,9	0,5	нет	3,9
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	8,4	7,2	0,6	нет	4,6
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	8,4	7,1	0,5	нет	4,4
НСР ₀₅		0,11	0,06		0,15

Анализ динамики содержания подвижного фосфора в рисовой луговой почве показал, что внесение фосфогипса из расчета 2–6 т/га обеспечивает такой же уровень содержания их в почве на протяжении всего периода вегетации, как и минеральные удобрения в норме P₈₀. Достоверных различий этих вариантов не выявлено. Имеется тенденция к увеличению содержания подвижного фосфора в почве при внесении фосфогипса в количестве 4 и 6 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика содержания подвижного фосфора в рисовой луговой почве при внесении фосфогипса нейтрализованного, мг/кг

Вариант	До посева	Фаза вегетации риса			
		всходы	кущение	выметывание	созревание
Без удобрений	46,2	48,6	49,9	51,8	47,4
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	46,2	51,2	52,8	54,5	48,3
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	46,2	48,9	50,0	53,0	47,9
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	46,2	50,7	51,4	54,6	48,2
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	46,2	51,5	52,6	55,1	49,0
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	46,2	52,0	53,5	55,9	49,2
НСР ₀₅	0,99	0,89	0,72	0,77	0,81

Достоверного, отличного от N₁₂₀P₈₀K₆₀, влияния фосфогипса нейтрализованного на содержание подвижного калия в почве не выявлено (таблица 4).

Таблица 4 – Динамика содержания подвижного калия в рисовой луговой почве при внесении фосфогипса нейтрализованного, мг/кг

Вариант	До посева	Фаза вегетации риса			
		всходы	кущение	выметывание	созревание
Без удобрений	236,0	254,5	252,0	240,5	238,0
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	236,0	266,0	255,0	250,0	240,5
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	236,0	267,5	258,5	252,5	241,0
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	236,0	265,5	254,5	251,0	240,5
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	236,0	266,5	256,0	252,0	241,5
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	236,0	266,0	257,0	252,5	242,0
НСР ₀₅		1,69	1,85	2,51	1,66

Таким образом, применение фосфогипса в количестве 4 и 6 т/га создает такой же уровень содержания в почве подвижного фосфора, как и при внесении минеральных удобрений из расчета P_{80} . Негативного воздействия фосфогипса на содержание доступных растениям форм азота и калия не выявлено.

Рост растений интересовал нас, прежде всего, как интегральное выражение их жизнедеятельности, как результат суммы сопряженных физиологических и биохимических процессов, протекающих в растительном организме под воздействием изучаемых форм удобрения. Рост – это новообразование органов и тканей, и интенсивность его определяется, прежде всего, обеспеченностью растений элементами минерального питания, оптимизируя которое можно направленно влиять на обмен веществ, рост и развитие растений [1]. Сравнительную оценку роста и развития растений риса из различных вариантов проводили по изменению линейных размеров надземных вегетативных органов, накоплению сухого вещества и формированию листовой поверхности.

Фосфогипс нейтрализованный негативно влияет на полевую всхожесть семян риса. В вариантах с ним в фазе всходов растений было на 1,99 % (4 т/а) – 8,28 % (6 т/га) меньше, чем при внесении $N_{120}P_{80}K_{60}$ (таблица 5). Однако уже в фазе кущения достоверных отличий вариантов с фосфогипсом от контроля ($N_{120}P_{80}K_{60}$) не выявлено. Такая же ситуация отмечена в фазе выхода в трубку, а в выметывание растений было уже на 24–25 шт./м² больше, чем при внесении $N_{120}P_{80}K_{60}$. Следовательно, фосфогипс способствует лучшей выживаемости растений. Обусловлено это, по всей вероятности, присутствующими в составе фосфогипса микроэлементами, которые, как известно положительно влияют на рост и развитие растений [11].

Внесение фосфогипса на фоне $N_{120}K_{60}$ обеспечивало эквивалентные с $N_{120}P_{80}K_{60}$ условия для роста растений в высоту. На протяжении всех этапов онтогенеза растения из этих вариантов не различались по высоте (таблица 6).

Таблица 5 - Густота стояния растений при внесении фосфогипса, шт./м²

Вариант	Фаза вегетации риса			
	всходы	кущение	выход в трубку	выметывание
Без удобрений	303	253	207	188
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	302	273	270	232
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	245	231	215	203
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	277	267	260	256
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	296	289	277	256
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	281	271	265	257
НСР ₀₅	18	20	21	17

Таблица 6 – Высота растений риса при внесении фосфогипса, см

Вариант	Фаза вегетации риса				
	всходы	кущение	выход в трубку	выметывание	полная спелость
Без удобрений	25,5	43,6	70,4	82,9	83,2
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	26,6	50,4	73,1	86,6	87,0
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	23,9	47,2	70,8	85,5	86,7
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	25,8	48,0	71,5	86,3	86,2
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	26,8	50,3	73,8	87,7	87,0
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	25,0	49,5	72,1	83,9	84,0
НСР ₀₅	2,5	3,0	4,2	4,8	5,2

Влияние фосфогипса на биосинтез сухого вещества более выражено, чем на рост растений в высоту. В начале онтогенеза сухая масса растений из вариантов с фосфогипсом меньше, чем в контроле, причем только внесение 4 т/га фосфогипса обеспечивало нормальное, т.е. как при внесении

$N_{120}P_{80}K_{60}$, развитие растений (таблица 7). Более низкие и высокие нормы фосфогипса негативно отражались на накоплении сухого вещества. Обусловлено это может быть многими факторами: недостатком фосфора, нарушением соотношения элементов питания, в первую очередь N:P, а также угнетающим действием отдельных компонентов фосфогипса. Наибольшие отличия от контроля выявлены в фазе кущения – 12,9–14,97 %, затем различия сокращались и в выметывание они составляли 1,53–3,85 %

Таблица 7 – Сухая масса растений риса при внесении фосфогипса, г

Вариант	Фаза вегетации риса			
	всходы	кущение	выход в трубку	выметывание
Без удобрений	0,124	0,379	1,384	2,144
$N_{120}P_{80}K_{60}$ – контроль	0,137	0,635	1,540	2,804
$N_{120}K_{60}$ – фон	0,124	0,465	1,390	2,411
$N_{120}K_{60}$ + ФГ, 2 т/га	0,128	0,542	1,463	2,696
$N_{120}K_{60}$ + ФГ, 4 т/га	0,136	0,675	1,538	2,858
$N_{120}K_{60}$ + ФГ, 6 т/га	0,130	0,553	1,531	2,761
$НСП_{05}$	0,007	0,082	0,071	0,211

В наибольшей мере с продуктивностью растений связан такой показатель роста и развития растений как площадь листьев. Растения из вариантов с внесением фосфогипса в фазе всходов имели меньшую ассимиляционную поверхность по сравнению с вариантом $N_{120}P_{80}K_{60}$. Однако эти различия были несущественны (таблица 8). В фазе кущения различия с контролем также были несущественны, но при внесении фосфогипса в количестве 4 т/га проявилась тенденция к формированию большей по размерам ассимиляционной поверхности, чем в остальных вариантах. И эта тенденция сохранялась до конца вегетации.

Таблица 8 – Площадь листьев растений риса при внесении фосфогипса, см²/раст.

Вариант	Фаза вегетации риса			
	всходы	кущение	выход в трубку	выметывание
Без удобрений	12,9	46,8	52,8	66,8
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	16,3	55,4	61,2	81,2
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	14,7	54,6	56,2	72,2
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	15,5	55,0	61,9	78,9
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	15,9	55,8	62,8	81,8
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	15,6	54,5	61,7	75,7
НСР ₀₅	0,71	1,75	4,51	5,49

Таким образом, фосфогипс нейтрализованный, внесенный в количестве 4 т/га в сочетании с N₁₂₀K₆₀, обеспечивает такой же уровень минерального питания растений, как и N₁₂₀P₈₀K₆₀. Фосфогипс обеспечивает большую выживаемость растений риса в процессе онтогенеза, вследствие чего формируется более плотный агроценоз: густота стояния растений здесь на 24–25 шт./м² больше, чем при внесении N₁₂₀P₈₀K₆₀. По высоте стебля и площади листьев растения с такого агрофона не отличались от контрольных (N₁₂₀P₈₀K₆₀), а по сухой массе превышали их на 2–6 %. Норма фосфогипса 6 т/га была менее эффективной.

Замена аммофоса фосфогипсом не изменяла характер динамики содержания в растениях азота, фосфора и калия. В то же время отмечены некоторые различия с контролем растений из вариантов с фосфогипсом по содержанию этих элементов в вегетативных органах и зерне риса. Исключение фосфора из системы удобрения отрицательно сказывалось не только на его содержании в растениях риса, но также азота и калия. Обусловлено это нарушением соотношения элементов питания в почве. Добавление к

N₁₂₀K₆₀ фосфогипса улучшало условия для поглощения растениями из почвы азота, фосфора и калия.

В период всходы-кущение содержание азота в растениях из вариантов с фосфогипсом было на 0,05–0,10 % и 0,03–0,38 % меньше, чем у контрольных. В дальнейшем, в фазе выхода в трубку и выметывания различия нивелируются, а в вариантах внесения фосфогипса в количестве 2 и 4 т/га его содержание даже несколько выше, чем при N₁₂₀P₈₀K₆₀. В фазе полной спелости различий вариантов по содержанию азота в вегетативных органах растений не выявлено, а в зерне из вариантов с 2 и 4 т/га фосфогипса его было на 0,05 % больше, чем в контроле (таблица 9).

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

Вариант	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Выметывание	Полная спелость	
					листья + стебли	зерно
Без удобрений	1,40	1,35	0,80	0,76	0,36	2,00
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	1,65	1,93	0,95	0,85	0,39	2,30
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	1,50	1,50	1,05	0,77	0,30	2,00
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	1,55	1,75	1,17	0,85	0,39	2,35
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	1,65	1,90	1,17	0,85	0,39	2,35
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	1,60	1,55	0,85	0,77	0,39	2,10

Аналогичным образом фосфогипс влияет на поглощение растениями риса фосфора (таблица 10) и калия (таблица 11).

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

Вариант	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Выметывание	Полная спелость	
					листья + стебли	зерно
Без удобрений	0,45	0,36	0,31	0,27	0,25	0,705
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	0,57	0,45	0,37	0,31	0,27	0,850
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	0,47	0,40	0,33	0,29	0,27	0,785
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	0,53	0,43	0,37	0,30	0,27	0,845
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	0,60	0,50	0,40	0,32	0,27	0,878
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	0,57	0,46	0,35	0,30	0,27	0,845

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

Вариант	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Выметывание	Полная спелость	
					листья + стебли	зерно
Без удобрений	4,80	4,00	3,85	3,10	2,45	1,10
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ – контроль	5,50	4,40	4,20	3,90	2,90	1,50
N ₁₂₀ K ₆₀ – фон	5,00	4,50	4,30	3,30	2,70	1,20
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 2 т/га	5,11	4,50	4,30	3,90	2,90	1,60
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 4 т/га	4,80	4,40	4,30	3,90	2,90	1,60
N ₁₂₀ K ₆₀ + ФГ, 6 т/га	5,50	4,50	4,60	3,20	2,50	1,20

Таким образом, по влиянию на поглощение растениями риса азота, фосфора и калия варианты N₁₂₀P₈₀K₆₀ и N₁₂₀K₆₀+ФГ 4 т/га идентичны, с небольшим преимуществом последнего, что обусловлено влиянием входя-

щих в состав фосфогипса микроэлементов. 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.

Отмеченные изменения в питательном режиме почвы под рисом и поступлении элементов питания в растения под воздействием фосфогипса повлияли на урожайность (таблица 12). 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. 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 ($N_{120}P_{80}K_{60}$). Рост урожайности произошел вследствие повышения выживаемости растений, озерненности метелки и массы зерна с растения.

Таблица 12 – Урожайность риса при внесении фосфогипса нейтрализованного

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
$НСП_{05}$	0,42				

Таким образом, полученные данные указывают на возможность использования фосфогипса нейтрализованного в качестве поликомпонентного удобрения на посевах риса. Замена в системе удобрения риса при внесе-

нии в основной прием 150 кг/га аммофоса на 40 кг/га карбамида и 4 т/га фосфогипса обеспечивает поддержание уровня содержания доступных растениям форм азота, фосфора и калия в почве и растениях, как и при внесении $N_{120}P_{80}K_{60}$. Урожайность при этом на 0,57 т/га или 8,98 % выше, чем в контроле. Рост урожайности происходит в результате повышения выживаемости растений, озерненности метелки и массы зерна с растения.

Выводы

1. Применение фосфогипса нейтрализованного в количестве 4 и 6 т/га создает такой же уровень содержания в почве подвижного фосфора, как и при внесении минеральных удобрений из расчета P_{80} . Негативного воздействия фосфогипса на содержание доступных растениям форм азота и калия не выявлено.

2. Фосфогипс нейтрализованный, внесенный из расчета 2–6 т/га в сочетании с $N_{120}K_{60}$, обеспечивает лучшую выживаемость растений риса в период от всходов до уборки, вследствие чего формируется более плотный агрофитоценоз: густота стояния растений здесь на 24–25 шт./м² больше, чем при внесении $N_{120}P_{80}K_{60}$. По высоте и ассимиляционной поверхности растения с такого агрофона не отличаются от контрольных ($N_{120}P_{80}K_{60}$), а по сухой массе превышают их на 2–6 %.

3. По влиянию на содержание в растениях риса азота, фосфора и калия варианты $N_{120}P_{80}K_{60}$ и $N_{120}K_{60}+ФГ$ 4 т/га идентичны, с небольшим преимуществом последнего, что обусловлено влиянием входящих в состав фосфогипса микроэлементов. 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.

4. Получены данные, указывающие на возможность использования фосфогипса нейтрализованного в качестве поликомпонентного удобрения на посевах риса. При системе удобрения риса $N_{120}P_{80}K_{60}$ внесение в основ-

ной прием 4 т/га фосфогипса обеспечивает уровень содержания азота, фосфора и калия в почве и растениях, как и при внесении 150 кг/га аммофоса. Урожайность риса при этом увеличивается на 0,57 т/га или 8,98 %. Рост урожайности происходит в результате повышения выживаемости растений, озерненности метелки и массы зерна с растения.

Литература

1. Алиев, Д.А. Фотосинтетическая деятельность, минеральное питание и продуктивность растений / Д.А. Алиев – Баку: Элм, 1974. – 336 с.
2. 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.
3. Куркаев, В.Т. Агрохимия: учеб. пособие для вузов / В.Т. Куркаев, А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2000. – 552 с.
4. Материалы комплексного агрохимического обследования почв ГУ ОП ЭСП «Красное» Красноармейского района Краснодарского края. 2003.
5. Методические указания по проведению агрохимического обследования и анализа длительно затопляемых почв / С.А. Рябцова [и др.] – Краснодар, 2012. – 51 с.
6. Научно-практические рекомендации по применению фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта и серного удобрения / Р.Ф. Байбеков [и др.]. – М.: ВНИИА, 2012. – 56 с.
7. Папенко, Ю.С. Экономический анализ опытных исследований по гипсованию солонцовых земель / Ю.С. Папенко // О мерах по освоению солонцовых почв в Казахской ССР. Материалы республ. совещания. – Алма-Ата, 1982. – С. 100–115.
8. Состояние плодородия почв ГУ ОП ЭСП «Красное» Красноармейского района по материалам комплексного агрохимического обследования. Краснодар, 2008.
9. Состояние плодородия почв ОНО ОПП РГПЗ «Красноармейский» им. А.И. Майстренко. По материалам комплексного агрохимического обследования. Краснодар, 2009.
10. Шеуджен А.Х. Агрохимия. Часть 2. Методика агрохимических исследований / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.
11. Шеуджен, А.Х. Агрохимия и физиология питания риса / А.Х. Шеуджен – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 1012 с.
12. Шеуджен, А.Х. Агрохимия: учеб. пособие для вузов / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: «Афиша», 2006. – 1072 с.

References

1. Aliyev, D.A. Fotosinteticheskaya deyatel'nost', mineral'noye pitaniye i produktivnost' rasteniy / D.A. Aliyev – Baku: Elm, 1974. – 336 s.

2. Kizinek, S.V. Effektivnost' primeneniya fosfogipsa kak kompleksnogo udobreniya v risovykh sevooborotakh na lugovo-chernozemnykh pochvakh / S.V. Kizinek, A.KH. Sheudzhen, M.YU. Loktionov. // KHKHI: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. Ser.: ekologiya. – 2012. – № 02(06). – S. 272–278.
3. Kurkayev, V.T. Agrokimiya: ucheb. posobiye dlya vuzov / V.T. Kurkayev, A.KH. Sheudzhen. – Maykop: GURIPP «Adygeya», 2000. – 552 s.
4. Materialy kompleksnogo agrokhimicheskogo obsledovaniya pochv GU OP ESP «Krasnoye» Krasnoarmeyskogo rayona Krasnodarskogo kraya. 2003.
5. Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu agrokhimicheskogo obsledovaniya i analiza dlitel'no zatoplyayemykh pochv / S.A. Ryabtsova [i dr.] – Krasnodar, 2012. – 51 s.
6. Nauchno-prakticheskiye rekomendatsii po primeniyu fosfogipsa neytralizovannogo v kachestve khimicheskogo melioranta i sernogo udobreniya / R.F. Baybekov [i dr.]. – M.: VNIIA, 2012. – 56 s.
7. Papenko, YU.S. Ekonomicheskiy analiz opytnykh issledovaniy po gipsovaniyu solontsovykh zemel' / YU.S. Papenko // O merakh po osvoyeniyu solontsovykh pochv v Kazakhskoy SSR. Materialy respubl. soveshchaniya. – Alma-Ata, 1982. – S. 100–115.
8. Sostoyaniye plodorodiya pochv GU OP ESP «Krasnoye» Krasnoarmeyskogo rayona po materialam kompleksnogo agrokhimicheskogo obsledovaniya. Krasnodar, 2008.
9. Sostoyaniye plodorodiya pochv ONO OPP RGPZ «Krasnoarmeyskiy» im. A.I. Maystrenko. Po materialam kompleksnogo agrokhimicheskogo obsledovaniya. Krasnodar, 2009.
10. Sheudzhen A.KH. Agrokimiya. Chast' 2. Metodika agrokhimicheskikh issledovaniy / A.KH. Sheudzhen, T.N. Bondareva. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – 703 s.
11. Sheudzhen, A.KH. Agrokimiya i fiziologiya pitaniya risa / A.KH. Sheudzhen – Maykop: GURIPP «Adygeya», 2005. – 1012 s.
12. Sheudzhen, A.KH. Agrokimiya: ucheb. posobiye dlya vuzov / A.KH. Sheudzhen, V.T. Kurkayev, N.S. Kotlyarov. – Maykop: «Afisha», 2006. – 1072 s.