

УДК 631.859:633.18.03

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ НЕЙТРАЛИЗОВАННОГО ФОСФОГИПСА В КАЧЕСТВЕ ПОЛИКОМПОНЕНТНОГО УДОБРЕНИЯ ДЛЯ ПОСЕВОВ РИСА[§]

© 2025 г. А. Х. Шеуджен^{1,2}, Т. Н. Бондарева^{1,2,*}, И. А. Лебедовский¹, П. Н. Хачмамук^{1,2}, С. В. Есипенко¹, М. А. Перепелин², А. А. Верещакова^{1,2}

¹Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина

350044 Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

²Федеральный научный центр риса

350921 Краснодар, пос. Белозерный, 3, Россия

E-mail: mail@kubsau.ru

*E-mail: bondarevatatjna@mail.ru

Оценили эффективность различных форм нейтрализованного фосфогипса (сыпучего, гранулированного, многокомпонентного органоминерального удобрения (МОМУ)) при применении в качестве поликомпонентного удобрения для посевов риса. Исследование проводили на лугово-черноземной сверхмощной слабогумусной тяжелосуглинистой почве оросительных рисовых систем Краснодарского края. Норма внесения фосфогипса была эквивалентна по содержанию P_2O_5 , поступившего в почву с минеральным удобрением (N120P60K40). Изучали 2 срока его внесения: осенью и ранней весной. Не установлено существенных различий в содержании фосфора в почве при внесении аммофоса и фосфогипса в различных физических формах и разные сроки (осень, весна). При внесении фосфогипса осенью в почве подвижной серы содержалось больше, чем в контроле: весной до посева риса – на 76.0–78.0, в фазе кущения – на 72.2–128, выметывания – на 71.9–131, полной спелости – на 70.0–133%, при его внесении весной – на 83.7–87.8, 85.0–113, 88.6–117, 87.1–123% соответственно. Больше всего серы в почву поступало с сыпучим фосфогипсом, меньше – с гранулированным. Фосфогипс влиял на поступление в растения риса азота, фосфора, калия и серы. При его внесении осенью наиболее благоприятные условия для поглощения растениями этих элементов складывались при использовании сыпучего фосфогипса, при внесении весной – гранулированного и МОМУ. Урожайности риса при внесении фосфора с минеральным удобрением (аммофосом) и фосфогипсом (сыпучим, гранулированным, МОМУ) существенно не различалась, т.е. нейтрализованный фосфогипс по эффективности был равен аммофосу.

Ключевые слова: фосфогипс нейтрализованный, фосфогипс нейтрализованный гранулированный, многокомпонентное органоминеральное удобрение на основе фосфогипса, рис.

DOI: 10.31857/S0002188125030054, **EDN:** UQRJYO

ВВЕДЕНИЕ

Мировое производство фосфорных удобрений составляет ≈200 млн т в год. Побочный продукт их производства – фосфогипс. При получении 1 т фосфорной кислоты образуется 4.2–6.5 т фосфогипса в пересчете на сухой дигидрат сульфата кальция [1]. В дальнейшее использование вовлекается малая его часть (не более 1%) [2]. Недостаточное вовлечение фосфогипса в дальнейшую переработку привели к накоплению в отвалах предприятий на территории Российской Федерации не менее 150 млн т этого

продукта, и эти накопления ежегодно увеличиваются на 14 млн т [3], что отрицательно сказывается на экологии окружающей среды. В обзоре российского и мирового опыта решения экологических проблем производства, хранения, переработки и использования фосфогипса [4] отмечено, что одним из направлений его использования должно стать сельское хозяйство. В фосфогипсе содержится более: 37 кальция, 21 серы, 2 фосфора, 1% кремния, в небольших количествах необходимые и незаменимые для жизнедеятельности растений макро-, мезо-, микро- и ультрамикрорезлементы. При внесении фосфогипса в количестве 1 т/га на поле поступает 265 Са, 215 S_{общ}, 20 P₂O₅ и 9.8 кг SiO₂ [5]. Это значит, что фосфогипс – ценное поликомпонентное

[§] Исследование проведено при поддержке Кубанского научного фонда.

удобрение для сельскохозяйственных культур и мелиорант для почв.

Значительную ценность фосфогипс представляет для рисоводства. При выращивании этой культуры почва пребывает под слоем воды на протяжении 90–120 сут. Это приводит к вымыванию 290 кг/га кальция ежегодно, что негативно сказывается на структуре и плодородии почв. Внесение фосфогипса в количестве 4 т/га один раз за ротацию севооборота позволило бы избежать многих проблем, связанных с деградацией рисовых почв.

ООО «ЕвроХим-Белореченские минудобрения» (Краснодарский край) является крупным производителем фосфорных удобрений, а побочный продукт их производства – фосфогипс нейтрализованный может быть использован в качестве средства для повышения плодородия почв, улучшения их физико-химических, агрофизических и агрохимических свойств, структуры и питательного режима, продуктивности сельскохозяйственных культур и качества их продукции. Однако значительной проблемой эффективного применения фосфогипса являются значительные затраты на его доставку, подготовку и внесение. Для решения некоторых из обозначенных проблем ООО «ЕвроХим-Белореченские минудобрения» применил гранулирование фосфогипса, а также разработал многокомпонентное органоминеральное удобрение (МОМУ), содержащее 90% фосфогипса нейтрализованного и 10% компоста.

Цель работы – оценка эффективности различных форм (сыпучего, гранулированного, МОМУ) фосфогипса нейтрализованного (ФГ) в качестве удобрения для посевов риса.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыт проводили на рисовой оросительной системе РПЗ «Красноармейский» им. А.И. Майстренко – филиала ФНЦ риса (Краснодарский край) в 2022–2023 гг.

Почва опытного участка – лугово-черноземная сверхмощная слабогумусная тяжелосуглинистая. В пахотном слое 0–20 см почвы валовое содержание азота было равно 0.18, фосфора – 0.16, гумуса – 3.6%, реакция почвенного раствора ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) 6.6 ед.

Схема опыта включала следующие варианты: 1 – без удобрений (контроль), 2 – N120P60K40, 3 – N120K40 + ФГ сыпучий 4 т/га (Р60), 4 – N120K40 + ФГ гранулированный 4 т/га (Р60), 5 – N120K40 + МОМУ 4.4 т/га (Р60). Площадь делянок 250 м², повторность трехкратная. Размещение вариантов рендомизированное. Предшественник – рис, норма высева – 7 млн всхожих семян/га, режим орошения – укороченное затопление. Агротехника выращивания риса – рекомендованная ФНЦ риса для данной зоны [6]. Фосфогипс

нейтрализованный (ФГ) вносили в количестве 4 т/га осенью и весной до посева риса с заделкой в почву на глубину 8–10 см, азотное удобрение (N_M) – до посева (N46) и 2 подкормки – в фазах всходов (N46) и кушения (N28) растений. В варианте N120P60K40 до посева вносили АФ (аммофос в дозе N12) и N_M (N35), калийное удобрение (K_x до посева в дозе K40).

В фазах вегетации отбирали растения риса для определения параметров их роста и развития, перед уборкой – биометрических показателей [7]. Агрохимический анализ почвы проводили до посева и после уборки урожая риса. Уборку осуществляли в фазе полной спелости зерна. Массу зерна с учетной площади делянки пересчитывали на стандартную влажность и чистоту [7, 8].

Густоту стояния растений учитывали путем их подсчета на площади 0.25 м²; линейные параметры растений – путем измерения, сухую массу – путем взвешивания после 6 ч высушивания при температуре 105°C. Содержание в растениях азота и фосфора определяли из одной навески по методу Куркаева [9], подвижной серы – по ГОСТ 26490 в модификации ЦИНАО [10]. До посева и после уборки из пахотного слоя отбирали образцы почвы, в которых определяли: влажность – гравиметрическим методом [11], $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ – потенциометрическим методом [11], содержание обменного аммония – феноловым методом, подвижного фосфора – в 0.5%-ном растворе CH_3COOH по Чирикову [12]. Статистическая оценка результатов выполнена с использованием метода дисперсионного анализа [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние фосфогипса на содержание в почве аммонийного азота не выявлено. Больше по сравнению с контролем его содержание в удобренной почве было обусловлено внесением азотного удобрения (табл. 1).

Содержание фосфора в почве при внесении как аммофоса, так и фосфогипса увеличивалось. При внесении фосфогипса осенью фосфора в почве содержалось больше, чем в контроле в фазах кушения на 5.7–7.5, выметывания – 3.9–5.8, полной спелости – 1.7–2.3%, при внесении весной – на 8.6–8.9, 5.5–5.8 и 3.1–3.6% соответственно (табл. 2).

Существенных различий в содержании фосфора в почве при внесении аммофоса и фосфогипса не установлено. Следовательно, фосфогипс можно применять в качестве фосфорного удобрения. Также не отмечено существенных различий во влиянии на обеспеченность растений риса фосфором при внесении фосфогипса в различных физических формах и разные сроки (осень, весна). Отмечено лишь незначительное преимущество внесения фосфогипса весной перед посевом и гранулированного фосфогипса, обогащенного гуматами (МОМУ).

Таблица 1. Динамика содержания аммонийного азота в лугово-черноземной почве при внесении фосфогипса в качестве поликомпонентного удобрения в посевах риса, мг/кг

Вариант	До посева	Кущение	Выметывание	Полная спелость
Внесение фосфогипса осенью				
Без удобрений	9.4	14.6	11.3	9.0
N120P60K40	11.5	16.4	12.2	10.3
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	11.8	16.9	12.8	10.6
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	11.7	16.8	12.7	10.4
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	12.0	16.9	12.8	10.3
<i>HCP</i> ₀₅	0.5	0.7	0.7	0.8
Внесение фосфогипса весной				
Без удобрений	11.1	13.6	10.3	8.0
N120P60K40	12.2	15.2	11.2	9.4
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	12.2	15.4	11.5	9.4
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	12.4	15.5	11.7	9.5
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	12.5	15.7	11.8	9.6
<i>HCP</i> ₀₅	0.4	0.8	0.7	0.6

Таблица 2. Динамика содержания подвижного фосфора в лугово-черноземной почве при внесении фосфогипса в качестве поликомпонентного удобрения в посевах риса, мг/кг

Вариант	До посева	Кущение	Выметывание	Полная спелость
Внесение фосфогипса осенью				
Без удобрений	62.2	60.0	57.2	52.4
N120P60K40	73.3	63.4	59.4	53.6
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	74.4	64.5	60.5	53.6
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	73.8	63.6	59.7	53.3
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	73.9	63.8	59.8	53.5
<i>HCP</i> ₀₅	5.4	3.2	3.9	4.1
Внесение фосфогипса весной				
Без удобрений	65.3	63.0	60.1	55.5
N120P60K40	77.3	68.5	63.4	57.2
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	77.6	68.4	63.5	57.2
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	77.7	68.5	63.5	57.4
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	77.8	68.6	63.6	57.5
<i>HCP</i> ₀₅	5.4	3.4	4.0	5.6

Динамика содержания подвижного калия в почве определялась только внесением калийного удобрения (табл. 3).

С фосфогипсом в почву поступало огромное количество серы – 860 кг/га. С одной стороны, это оптимизировало баланс серы в питании риса, особенно на фоне отмеченного повсеместно обеднения рисовых почв этим элементом, с другой, – значительные объемы элемента могли отрицательно сказаться на росте и развитии растений [5]. При внесении фосфогипса осенью в почве подвижной серы было

больше, чем в контроле весной на 76.0–78.0, в фазах кущения – на 72.2–128, выметывания – 71.9–131.3, полной спелости – 70.0–133%, при внесении фосфогипса весной – на 83.7–87.8, 85.0–113, 88.6–117, 87.1–123% соответственно (табл. 4).

Больше всего серы в почву привносилось с сыпучим фосфогипсом, меньше – с гранулированным. При внесении в почву МОРУ содержание подвижной серы в почве было значительно меньше, чем при удобрении сыпучим фосфогипсом и несколько (на 5–6%) больше, чем гранулированным.

Таблица 3. Динамика содержания подвижного калия в лугово-черноземной почве при внесении фосфогипса в качестве поликомпонентного удобрения в посевах риса, мг/кг

Вариант	До посева	Кущение	Выметывание	Полная спелость
Внесение фосфогипса осенью				
Без удобрений	233	229	225	221
N120P60K40	252	241	233	226
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	254	241	233	226
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	254	241	232	226
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	253	241	233	226
<i>HCP</i> ₀₅	11	12	11	11
Внесение фосфогипса весной				
Без удобрений	230	227	221	220
N120P60K40	248	242	238	230
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	249	243	238	230
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	249	243	238	231
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	249	243	238	231
<i>HCP</i> ₀₅	15	14	12	13

Таблица 4. Динамика содержания подвижной серы в лугово-черноземной почве при внесении фосфогипса в качестве поликомпонентного удобрения в посевах риса, мг/кг

Вариант	До посева	Кущение	Выметывание	Полная спелость
Внесение фосфогипса осенью				
Без удобрений	5.0	3.6	3.2	3.0
N120P60K40	5.4	5.0	4.3	3.9
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	8.9	8.2	7.4	7.0
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	8.8	6.2	5.5	5.1
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	8.9	6.4	5.6	5.1
<i>HCP</i> ₀₅	0.5	0.4	0.6	0.5
Внесение фосфогипса весной				
Без удобрений	4.9	4.0	3.5	3.1
N120P60K40	5.5	4.9	4.2	3.8
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	9.1	8.5	7.6	6.9
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	9.0	7.4	6.6	5.8
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	9.2	7.6	6.7	5.9
<i>HCP</i> ₀₅	0.3	0.3	0.2	0.2

На содержание в растениях риса азота, фосфора и калия влияли как их обеспеченность этими элементами, так и фаза развития растений, определявшие интенсивность извлечения элементов из почвы.

При внесении фосфогипса осенью в растениях в фазе кущения азота содержалось на 0.01–0.04% меньше, чем при внесении полного минерального удобрения, но уже в фазе выметывания его количество было на 0.12–0.16% больше. Компоненты фосфогипса влияли на аттракцию азота из вегетативных

органов в зерновку: в фазе полной спелости в вегетативных органах растений азота содержалось на 0.02–0.06% меньше, а в зерне – на 0.02–0.04% больше. По влиянию на поглощение растениями риса азота изученные формы фосфогипса существенно не различались (табл. 5).

При внесении фосфогипса весной степень его воздействия по сравнению с осенним внесением на содержание в растениях азота была меньше. Негативное воздействие, выражающееся в меньшем

Таблица 5. Динамика содержания азота в растениях риса при внесении фосфогипса в качестве поликомпонентного удобрения, % сухой массы

Вариант	Кущение	Выметывание	Созревание	
	листья	листья + стебли	листья + стебли	зерно
Внесение фосфогипса осенью				
Без удобрений	2.44	1.50	0.50	1.16
N120P60K40	2.88	1.56	0.67	1.22
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	2.87	1.70	0.69	1.26
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	2.84	1.68	0.61	1.24
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	2.86	1.72	0.62	1.25
HCP ₀₅	0.04	0.07	0.02	0.02
Внесение фосфогипса весной				
Без удобрений	2.24	1.45	0.51	1.14
N120P60K40	2.68	1.52	0.66	1.20
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	2.52	1.50	0.67	1.21
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	2.57	1.51	0.68	1.21
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	2.55	1.51	0.68	1.22
HCP ₀₅	0.03	0.05	0.02	0.02

на 0.11–0.16% содержания азота в растениях в фазе их кущения и на 0.01–0.02% в фазе выметывания было значительнее и продолжительнее, чем при внесении осенью. Слабее было его влияние при весеннем внесении и на аттракцию элемента из вегетативных органов в генеративные.

В фазе кущения в растениях в вариантах с внесением осенью гранулированного фосфогипса и МОРУ фосфора содержалось лишь на 0.01%

меньше, чем в растениях, произраставших на фоне полного минерального удобрения и сыпучего фосфогипса. Однако в фазе выметывания уже отмечали более интенсивное поглощение фосфора растениями в вариантах с фосфогипсом. По завершению онтогенеза в зерне и вегетативных органах этих растений фосфора содержалось больше на 0.01–0.02 и 0.02–0.03% соответственно. При внесении фосфогипса осенью наибольший эффект обеспечивал сыпучий фосфогипс (табл. 6).

Таблица 6. Динамика содержания фосфора в растениях риса при внесении фосфогипса в качестве поликомпонентного удобрения, % сухой массы

Вариант	Кущение	Выметывание	Созревание	
	листья	листья + стебли	листья + стебли	зерно
Внесение фосфогипса осенью				
Без удобрений	0.70	0.60	0.20	0.62
N120P60K40	0.78	0.65	0.24	0.65
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	0.78	0.68	0.27	0.67
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	0.77	0.67	0.26	0.66
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	0.77	0.67	0.27	0.66
HCP ₀₅	0.06	0.05	0.05	0.04
Внесение фосфогипса весной				
Без удобрений	0.69	0.58	0.20	0.60
N120P60K40	0.79	0.66	0.25	0.65
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	0.77	0.67	0.25	0.67
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	0.79	0.68	0.25	0.67
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	0.79	0.68	0.26	0.66
HCP ₀₅	0.08	0.06	0.05	0.05

Результат воздействия фосфогипса, внесенного весной, обнаружен в фазе выметывания. Под его воздействием содержание фосфора в растениях риса было на 0.01–0.02% больше, чем при внесении минеральных удобрений из расчета N120P60K40. Фосфогипс способствовал не только поглощению растениями большего количества фосфора, но и рациональному его распределению между вегетативными органами и зерном. Самое большое количество фосфора накапливалось в зерне растений, произраставших на фоне внесения сыпучего и гранулированного фосфогипса. При этом необходимо подчеркнуть, что МОРУ по эффективности воздействия на поглощение фосфора существенно не уступало им.

Фосфогипс усиливал влияние калийного удобрения. На это указывало количество калия в растениях риса, которое было больше, чем при внесении N120P60K40, в фазах кущения – на 0.14–0.18, выметывания – 0.04–0.06, полной спелости – в зерне на 0.01 и вегетативных органах – на 0.01–0.04%. Существенных различий во влиянии МОРУ, сыпучего и гранулированного фосфогипса не наблюдали (табл. 7).

При внесении фосфогипса весной отмечено торможение поступления калия в растения риса в начале онтогенеза, вследствие чего его содержалось на 0.03–0.05% меньше, чем в растениях, произраставших при внесении N120P60K40. Затем негативное воздействие постепенно ослабевало. При внесении гранулированного фосфогипса и МОРУ в зерне калия содержалось на 0.02, а вегетативных органах – на 0.03% больше, чем при применении азотно-фосфорно-калийного

удобрения (N120P60K40). Фосфогипс сыпучий не оказывал влияния на накопление калия в зерне риса.

Значительное количество серы, поступившее с фосфогипсом в почву, повлияло на ее поступление в растения риса. При внесении фосфогипса осенью в растениях риса серы накапливалось больше, чем при внесении N120P60K40, в фазах кущения – на 0.01–0.02, выметывания – 0.01–0.03, полной спелости: в зерне – на 0.01 и вегетативных органах – на 0.00–0.01%. В наибольшем количестве в период вегетативного развития сера поступала в растения при внесении фосфогипса сыпучего. В фазе полной спелости различий по ее содержанию в зерне и вегетативных органах растений при внесении фосфогипса сыпучего, гранулированного и МОРУ не отмечали (табл. 8).

При внесении фосфогипса весной закономерностей поступления серы в растения риса, отличных от отмеченных выше, не выявлено. Вместе с тем на всем протяжении онтогенеза в растения элемент поступал в большем количестве. Это было обусловлено в первую очередь более высоким содержанием элемента в почве.

Фосфогипс усиливал действие азотно-калийных минеральных удобрений. Это могло быть обусловлено как включением в систему удобрения риса серы и микроэлементов, так и воздействием на почву, обеспечившим увеличение доступности растениям элементов питания и сокращение их непродуцируемых потерь. При внесении фосфогипса осенью и азотно-калийного удобрений перед посевом

Таблица 7. Динамика содержания калия в растениях риса при внесении фосфогипса в качестве поликомпонентного удобрения, % сухой массы

Вариант	Кущение	Выметывание	Созревание	
	листья	листья + стебли	листья + стебли	зерно
Внесение фосфогипса осенью				
Без удобрений	2.32	2.28	2.02	0.32
N120P60K40	2.50	2.30	2.05	0.35
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	2.64	2.34	2.08	0.36
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	2.64	2.32	2.06	0.36
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	2.68	2.33	2.09	0.36
HCP ₀₅	0.07	0.02	0.03	0.03
Внесение фосфогипса весной				
Без удобрений	2.62	2.18	1.94	0.30
N120P60K40	2.98	2.32	2.03	0.33
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	2.93	2.26	2.00	0.33
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	2.95	2.30	2.06	0.35
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	2.95	2.31	2.09	0.35
HCP ₀₅	0.04	0.02	0.03	0.02

Таблица 8. Динамика содержания серы в растениях риса при внесении фосфогипса в качестве поликомпонентного удобрения, % сухой массы

Вариант	Кушение	Выметывание	Созревание	
	листья	листья + стебли	листья + стебли	зерно
Внесение фосфогипса осенью				
Без удобрений	0.10	0.08	0.10	0.10
N120P60K40	0.12	0.09	0.11	0.11
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	0.13	0.12	0.12	0.12
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	0.14	0.10	0.11	0.12
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	0.14	0.10	0.11	0.12
<i>HCP</i> ₀₅	0.02	0.02	0.02	0.02
Внесение фосфогипса весной				
Без удобрений	0.10	0.07	0.09	0.10
N120P60K40	0.11	0.09	0.10	0.10
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	0.14	0.13	0.12	0.12
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	0.15	0.11	0.11	0.12
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	0.15	0.12	0.11	0.12
<i>HCP</i> ₀₅	0.02	0.02	0.02	0.02

урожайность риса повышалась по сравнению с контролем на 13.8–14.7 ц/га, в т.ч. за счет фосфогипса – на 1.3–2.2 ц/га. Наибольший эффект достигался при внесении фосфогипса сыпучего и МОРУ (табл. 9).

Фосфогипс, внесенный весной в сочетании с N120K40, обеспечивал формирование несущественно большей, чем при внесении осенью, прибавки урожайности – 14.4–15.7 ц/га, в том числе за счет фосфогипса – 1.3–3.1 ц/га. Наибольшие прибавки

были обусловлены применением МОРУ и фосфогипса гранулированного.

Независимо от срока применения, фосфогипс усиливал влияние азотного и калийного удобрения на качество зерна риса. Отмечено увеличение содержания в зерне белка (1.9–2.1%) и крахмала (1.8–2.1%), а также повышение его стекловидности (2.0–2.5%), снижались пленчатость (0.4–0.5%) и трещиноватость (0.5–1.5%). Выход крупы возрастал на 3.0–4.5%.

Таблица 9. Урожайность риса при внесении фосфогипса в качестве поликомпонентного удобрения, ц/га

Удобрение	Урожайность, ц/га	Прибавка			
		ц/га	%	ц/га	%
Внесение фосфогипса осенью					
Без удобрений	58.0	–	–	–12.5	–17.73
N120P60K40	70.5	12.5	21.55	–	–
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	72.7	14.7	25.34	2.2	3.12
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	71.8	13.8	23.79	1.3	1.84
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	72.4	14.4	24.83	1.9	2.70
<i>HCP</i> ₀₅	3.8	–	–	–	–
Внесение фосфогипса весной					
Без удобрений	57.2	–	–	–13.5	–19.09
N120P60K40	70.7	13.5	23.60	–	–
N120K40 + ФГ сыпуч. 4 т/га (P60)	71.6	14.4	25.17	0.9	1.27
N120K40 + ФГ гранул. 4 т/га (P60)	72.3	15.1	26.40	1.6	2.26
N120K40 + МОРУ 4.4 т/га (P60)	72.9	15.7	27.45	2.2	3.11
<i>HCP</i> ₀₅	3.7	–	–	–	–

Наиболее качественное зерно было получено при применении МОМУ совместно с азотным и калийным удобрением.

ВЫВОДЫ

1. Фосфогипс не влиял на содержание в почве азота и калия, доступных для растений риса. Существенных различий в содержании фосфора в почве при внесении аммофоса и фосфогипса в различных физических формах и разные сроки (осенью, весной) не наблюдали.

2. При внесении фосфогипса осенью подвижной серы в почве весной до посева риса содержалось больше, чем в контроле на 76.0–78.0, в фазах кущения – 72.2–128, выметывания – 71.9–131, полной спелости – на 70.0–133%, а при его внесении весной – на 83.7–87.8, 85.0–113, 88.6–117, 87.1–123% соответственно. Больше всего серы в почву привносилось с сыпучим фосфогипсом, меньше – с гранулированным.

3. Фосфогипс влиял на поступление в растения риса азота, фосфора, калия и серы. При его внесении осенью наиболее благоприятные условия для поглощения растениями этих элементов складывались при использовании сыпучего фосфогипса, при внесении весной – гранулированного и МОМУ.

4. При внесении фосфогипса осенью и азотно-калийного удобрения перед посевом урожайность риса повышалась по сравнению с контролем на 13.8–14.7 ц/га, в т.ч. за счет фосфогипса – на 1.3–2.2 ц/га. Наибольший эффект достигался при внесении фосфогипса сыпучего и МОМУ. При внесении весной урожайность зерна риса повышалась на 14.4–15.7 ц/га, в том числе за счет фосфогипса – на 1.3–3.1 ц/га. Урожайность риса при внесении фосфора с минеральным удобрением (аммофосом) и фосфогипсом (сыпучим, гранулированным, МОМУ) существенно не различалась, т.е. фосфогипс нейтрализованный по эффективности был идентичен аммофосу.

5. Использование фосфогипса нейтрализованного на рисовых почвах в качестве мелиоранта и поликомпонентного удобрения один раз за ротацию севооборота позволит решить многие проблемы сохранения и восстановления их плодородия, что экспериментально подтверждено многолетними исследованиями. Основной проблемой эффективного использования фосфогипса нейтрализованного в сельском хозяйстве являются очень высокие затраты на его доставку и внесение. Гранулирование и компостирование повышает агрономическую

эффективность сыпучего фосфогипса, но не решает проблем экономической эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 2-2019 “Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот”. Росстандарт. М.: Бюро НДТ, 2019. 825 с.
2. Цикин М.Н., Малявин А.С. Переработка фосфогипса как способ повышения экологической и ресурсной эффективности производств минеральных удобрений // Вестн. научн.-техн. развития. 2022. № 167. С. 47–53.
3. Куанышкалиев Ж.Ж., Денисов К.Е. Экологическая безопасность применения фосфогипса дигидрата на посевах подсолнечника // Аграрн. конф. 2021. № 4(28). С. 27–33.
4. Недбаев И.С., Цывкунова Н.В., Елсукова Е.Ю. Обзор российского и мирового опыта решения экологических проблем производства, хранения, переработки и использования фосфогипса // Вестн. евраз. науки. 2022. Т. 14. № 4.
5. Шеуджен А.Х., Гаркуша С.В., Бондарева Т.Н., Кремзин Н.М., Хачмамук П.Н. Агрохимия фосфогипса в рисовом агроценозе. Майкоп: ОАО “Полиграф-ЮГ”, 2021. 156 с.
6. Система рисоводства Российской Федерации / Под ред. С.В. Гаркуши. Краснодар: ФНЦ риса, Просвещение-Юг, 2022. 368 с.
7. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов: учеб. пособ. 2-е изд. перераб. и доп. Майкоп: ОАО “Полиграф-ЮГ”, 2015. 661 с.
8. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения чистоты и отхода семян: ГОСТ-12037-81. Введ. 1982-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2011. 20 с.
9. Куркаев В.Т., Шеуджен А.Х. Агрохимия: учеб. пособ. для вузов. Майкоп: ГУРИПП “Адыгея”, 2000. 552 с.
10. Шеуджен А.Х., Суетов В.П., Бондарева Т.Н., Кизинек С.В., Лебедовский И.А. Сера и методы ее определения. Майкоп: ООО “Полиграф-ЮГ”, 2019. 135 с.
11. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
12. Рябцова С.А., Чижиков В.Н., Бочко Т.Ф., Швыдкая Л.А. Методические указания по проведению агрохимического обследования и анализа длительно затопляемых почв. Краснодар, 2012. 51 с.

Effectiveness of Various Forms of Neutralized Phosphogypsum as a Multicomponent Fertilizer for Rice Crops

A. Kh. Sheudzen^{a,b}, T. N. Bondareva^{a,b,#}, I. A. Lebedovskiy^a, P. N. Khachmamuk^{a,b},
S. V. Esipenko^a, M. A. Perepelin^b, A. A. Vereschakova^{a,b}

^a*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin,
ul. Kalinina 13, Krasnodar 350044, Russia*

^b*Federal Scientific Rice Centre,
pos. Belozerny 3, Krasnodar 350921, Russia*

[#]*E-mail: bondarevatatjna@mail.ru*

The effectiveness of various forms of neutralized phosphogypsum (bulky, granular, multicomponent organomineral fertilizer (MOMF)) was evaluated when used as a multicomponent fertilizer for rice crops. The study was carried out on meadow-chernozem rich low-humus heavy-loamy soil of irrigation rice systems of the Krasnodar Territory. The rate of application of phosphogypsum was equivalent in terms of the content of P₂O₅ entering the soil with mineral fertilizer (N120P60K40). We studied 2 terms of its introduction: in autumn and early spring. There were no significant differences in the phosphorus content in the soil when applying ammophos and phosphogypsum in various physical forms and at different seasons (autumn, spring). When applying phosphogypsum in autumn, the soil contained more mobile sulfur than in the control: in spring before rice sowing – by 76.0–78.0, in the tillering phase – by 72.2–128, earing – by 71.9–131, full ripeness – by 70.0–133%, when applied in spring – by 83.7–87.8, 85.0–113, 88.6–117, 87.1–123%, accordingly. Most of the sulfur entered the soil with bulky phosphogypsum, less with granular. Phosphogypsum affected the intake of nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur by rice plants. When applied in autumn, the most favorable conditions for the absorption of these elements by plants were formed when using bulky phosphogypsum, when applied in spring – granular and MOMF. The yield of rice when applying phosphorus with mineral fertilizer (ammophos) and phosphogypsum (bulky, granular, MOMF) did not differ significantly, i.e. neutralized phosphogypsum was equal in efficiency to ammophos.

Keywords: phosphogypsum neutralized, phosphogypsum neutralized granular, multicomponent organomineral fertilizer based on phosphogypsum, rice.