



Научная статья

УДК 631:631.9:631.95

doi: 10.55186/25876740_2023_66_2_163

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОГИПСА В ОВОЩНЫХ АГРОЦЕНОЗАХ

Н.И. Аканова¹, Л.Н. Холомьева², М.Н. Можаренко²,
Ш.Б. Байрамбеков³, А.В. Гулин⁴

¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

²АО «Апатит», Москва, Россия

³ООО «Виридис», Астрахань, Россия

⁴Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства — филиал Прикаспийского аграрного федерального научного центра Российской академии наук, Астрахань, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена возможность использования побочного продукта химической промышленности – фосфогипса (ФГ) в качестве мелиоранта и комплексного фосфорсодержащего минерального удобрения. Результаты полевого опыта с морковью доказали целесообразность использования ФГ в ресурсосберегающих технологиях сельскохозяйственного производства при орошении на засоленных почвах. Проведенные исследования показали, что внесение ФГ в дозах до 4,5 т/га улучшает условия произрастания растений, стимулирует развитие более мощного листового аппарата и увеличение массы корнеплодов моркови. В динамике развития растений в вариантах с внесением ФГ масса корнеплода составляла 84,0-89,6 г, в то время как на контроле — 51,6 г. Максимальная масса корнеплода моркови получена в варианте с внесением 4,5 т/га ФГ и составляла 155,1 г, что на 72% больше в сравнении с контролем, что существенно отразилось на урожайности. Урожай корнеплодов моркови при внесении возрастающих доз ФГ повышался от 29,1 до 33,8 т/га, что больше показателя контрольного варианта на 21,8-41,4%. Лучшие результаты получены при внесении максимальной дозы ФГ — 4,5 т/га. Содержание сухого вещества в корнеплодах колебалось от 14,02 до 16,66%. Максимальное содержание общего сахара — 8,1% отмечено в контрольном варианте, в вариантах с внесением ФГ величина показателя колебалась от 6,9 до 7,6%. Содержание витамина С в вариантах с внесением ФГ определялось на уровне 4,475 до 5,722 мг%, а массовая доля каротина составляла от 0,39х10³ до 0,60х10³. Экологическая оценка эффективности ФГ не выявила загрязнения почв и растений моркови тяжелыми металлами. Значительных изменений в агрохимических свойствах почвы не выявлено.

Ключевые слова: фосфогипс, морковь, урожай корнеплодов, плодородие почвы, фосфор

Original article

AGRO-ECOLOGICAL EFFICIENCY OF PHOSPHOGYPSUM USE IN VEGETABLE AGROCENOSSES

N.I. Akanova¹, L.N. Kholomyeva², M.N. Mozhareno²,
Sh.B. Bayrambekov³, A.V. Gulina⁴

¹All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

²JSC "Apatit", Moscow, Russia

³LLC "Viridis", Astrakhan, Russia

⁴All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable Growing and Melon Growing — branch of the Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan, Russia

Abstract. The article considers the possibility of using a by-product of the chemical industry — phosphogypsum (FG) as a reclamation agent and a complex phosphorus-containing mineral fertilizer. The results of field experience with carrots proved the feasibility of using FG in resource-saving technologies of agricultural production during irrigation on saline soils. Studies have shown that the introduction of FG in doses up to 4.5 t/ha improves the growing conditions of plants, stimulated the development of a more powerful leaf apparatus and an increase in the mass of carrot root crops. In the dynamics of plant development in variants with the introduction of FG, the mass of the root crop was 84.0-89.6 g, while at the control — 51.6 g. The maximum mass of the carrot root crop was obtained in the version with the introduction of 4.5 t/ha of FG and amounted to 155.1 g, which is 72% more compared to the control, which significantly affected the yield. The yield of carrot root crops with the introduction of increasing doses of FG increased from 29.1 to 33.8 t/ha, which is more than the indicator of the control variant by 21.8-41.4%. The best results were obtained when applying the maximum dose of FG — 4.5 t/ha. The dry matter content in root crops ranged from 14.02 to 16.66%. The maximum content of total sugar — 8.1% was noted in the control version, in the variants with the introduction of FG, the value of the indicator ranged from 6.9 to 7.6%. The content of vitamin C in the variants with the introduction of FG was determined by the level of 4.475 to 5.722 mg%, and the mass fraction of carotene was from 0.39x10³ to 0.60x10³. An environmental assessment of the effectiveness of FG did not reveal contamination of soils and plants of carrots with heavy metals. Significant changes in the agrochemical properties of the soil were not revealed.

Keywords: phosphogypsum, carrots, root crop yield, soil fertility, phosphorus

Введение. Применение в земледелии кальцийсодержащих отходов и побочных продуктов производства минеральных удобрений — основное решение проблемы агроэкономически выгодного, рационального, экологически безопасного и безотходного использования природного сырья. В Российской Федерации скопилось в отвалах значительная масса фосфогипса (ФГ), и с каждым годом она пополняется более чем на 10 млн т.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что включение фосфогипса в систему питания агроценозов — это высокоэффективный агротехнический прием химической мелиорации [1]. В основном используемые технологические схемы внесения фосфогипса рекомендованы для солонцовых почв, что способствует их рассолонцеванию, защелачиванию, существенному улучшению физико-механических и агрохимических свойств почв, в том числе повышению содержания подвижно-го фосфора [2-4].

Однако в исследованиях последних лет показано, что применение нейтрализованного фосфогипса эффективно и на слабнокислых низкоплодородных почвах [5-6]. При внесении 1 т/га ФГ, помимо кальция, кремния, большого ряда микроэлементов (>1,5%), в почву поступает 200-220 кг S и 15-45 кг P₂O₅ [7]. При этом установлено его заметное влияние на трансформацию органического вещества и благоприятное развитие фаунистического сообщества. При использовании ФГ улучшается водно-воздушный режим, увеличивается содержание кислорода, значительно уменьшается плотность почвы, увеличивается количество доступных питательных веществ [8]. Отмечается повышение аэрации, порозности, инфильтрации почв. Следует особо отметить, что возрастает масса кремнийсодержащих веществ, обладающих высокой потенциальной способностью коагулировать с минеральными и органическими соединениями почвы, улучшается количественный и качественный состав гумуса [9].

Применение ФГ способствует усилению плотительной способности почвы, улучшается ее пористость [10], снижается степень супердисперсности тонкой фракции почвы [11]. ФГ способствует увеличению влагоемкости почвы, снижению кислотности нижележащих слоев почвы, что улучшает условия произрастания растений [12-13].

К недостаткам ФГ относят наличие в его составе тяжелых металлов и радионуклидов. Результаты большого числа исследований свидетельствуют о том, что при внесении ФГ в дозах 3-50 т/га содержание в почве тяжелых металлов не превышает значений ПДК [12, 14, 15]. Апатитовое сырье, из которого получают ФГ с Хибинского, Ковдорского и Кингисеппского месторождений, считается самым радиоактивно чистым — 50-120 Бк/кг по ¹³⁷Cs [16]. При этом лимит радиоактивности для ФГ, принятый в мире по образцу США, составляет 370 Бк/кг [17, 18].

Из вышеизложенного следует, что научно обоснованное применение ФГ представляется актуальным для разработки ресурсосберегающих технологий, способствующих повышению плодородия почв, урожайности сельскохозяйственных культур, улучшению качества растениеводческой продукции и стабилизации экологической безопасности окружающей среды.

Цель исследований состояла в разработке приемов наиболее эффективного и рационального использования ФГ Балаковского филиала

АО «Апатит» в полевых условиях Астраханской области на слабозасоленных почвах при формировании продуктивности моркови.

Методика проведения исследований. Полевой опыт был заложен в 2021 г. в Камызякском районе Астраханской области, на опытном поле Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства — филиала Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН (ВНИИОСБ — филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»).

В качестве объекта исследований использовали морковь F₁ Ред Кор. Гибрид ранний, после появления всходов проходит 75-80 дней до созревания.

Почва опытного участка аллювиально-луговая, по гранулометрическому составу — среднесуглинистая, слабозасоленная, засоление сульфатно-хлоридного типа. До внесения ФГ реакция среды в пахотном слое близкая к нейтральной — pH 7,5-7,7, содержание гумуса — 1,19-2,55%, хорошо обеспеченная по калию (116-295 мг/кг), низко обеспеченная по фосфору (37-50 мг/кг). Содержание щелочногидролизующего азота составляло 35-77 мг/кг. Почва опытного участка отличалась небольшой плотностью сложения — в слое 0,0-0,2 м в среднем 1,24 т/м³, показатели плотности твердой фазы — 2,71 т/м³, пористость пахотного слоя удовлетворительная — 53,7%. Содержание в почве подвижных форм (мг/кг): Zn — 0,30-0,41, Cu — 0,14-0,18, Pb — 1,0-1,9, Cd — <0,05-0,9, Ni — <2,5-3,2, фторид иона — 0,56-1,11.

Температурные условия вегетационного периода 2021 г. были благоприятны для роста и развития растений. Среднедекадная температура воздуха в 1-й декаде апреля на 2,4°C превышала среднемесячные значения (+8,8°C). Во 2-й декаде среднедекадная температура составляла 17,5°C. В 3-й декаде среднемноголетний показатель был превышен на 4,4°C. Сумма осадков за апрель составляла 12,9 мм. Ветреная и сухая, теплая погода установилась в мае, с повышением температуры до 28°C. За месяц выпало 9,6 мм осадков. Июнь и июль отличались жаркой и сухой погодой, среднемесячная температура составляла 28,3°C. За месяц выпало 29,6 и 2,2 мм осадков соответственно.

Среднесуточная температура воздуха в 1-й декаде августа составляла 30,3°C. Осадков за месяц не было. За период проведения наблюдений с апреля по сентябрь выпало 79,7 мм осадков.

Схема проведения опыта:

1. Контроль
2. N₉₀P₁₂₀K₆₀* — фон
3. Фон — 1,5 т/га ФГ**
4. Фон — 3,0 т/га ФГ**
5. Фон — 4,5 т/га ФГ**

*внесение минеральных удобрений под предпосевную обработку до посева культуры);

**внесение ФГ и минеральных удобрений под предпосевную обработку, до посева культуры.

Площадь опытной делянки — 100 м², площадь учетной делянки — 50 м², опыт заложен в 4-кратной повторности. Поливная норма посевов моркови — 50 м³/га, оросительная норма — 2240 м³/га, двукратная ручная прополка в рядах.

В почвенных пробах с глубины 0-20, 20-40 см определяли: pH вод. (ГОСТ 26483-85); содержание азота, подвижного калия и подвижного фосфора (по Кирсанову) (ГОСТ Р 54650-2011); кальций (ГОСТ 26428-85); магний (ГОСТ 26428-85); гидролитическую кислотность (ГОСТ 26212-91); емкость катионного обмена (ГОСТ 17.4.4.01-84); цинк подвижный (ГОСТ Р 50686-94); медь подвижная (ГОСТ Р 50686-94); свинец подвижный (ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.63-09); никель подвижный (ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.63-09); фторид-ион (ФР.1.31.2017.27474); физико-механические свойства почвы (по Качинскому).

В корнеплодах определяли содержание: сухого вещества (ГОСТ 31640-2012); массовую долю общего сахара (ГОСТ 8756.13-87); массовую долю витамина С (ГОСТ 24556-89); массовую долю нитратного азота (МУ 5048-89); массовую долю каротина (ГОСТ ISO 6568-2-19).

Обсуждение результатов. Формирование корнеплода у растений моркови начинается рано, но сначала он растет медленно в длину, а затем утолщается. Биометрические измерения свидетельствуют о том, что внесение ФГ не оказывало отрицательного влияния на рост и развитие корнеплодов моркови (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Динамика формирования длины корнеплода моркови, см
Table 1. Dynamics of the formation of the length of the carrot root crop, cm

Вариант	Дата проведения наблюдений				
	22.06.	7.07.	22.07.	9.08.	24.08.
1. Контроль	7,9	12,0	7,9	8,1	9,0
2. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀ — фон	7,3	12,8	9,6	8,0	9,4
3. Фон — 1,5 т/га ФГ	9,8	13,6	10,1	11,8	9,3
4. Фон — 3,0 т/га ФГ	9,6	13,4	10,4	10,5	10,4
5. Фон — 4,5 т/га ФГ	10,0	31,8	11,1	11,1	11,5
НСР ₀₅	1,1	0,7	1,2	2,4	0,9

Таблица 2. Средний диаметр корнеплода моркови во время вегетации, см
Table 2. The average diameter of the carrot root crop during the growing season, cm

Вариант	Дата проведения наблюдений				
	22.06.	7.07.	22.07.	9.08.	24.08.
1. Контроль	0,06	0,14	2,32	3,14	3,62
2. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀ — фон	0,07	0,15	2,54	3,41	3,93
3. Фон — 1,5 т/га ФГ	0,07	0,16	2,83	3,75	4,06
4. Фон — 3,0 т/га ФГ	0,08	0,17	3,02	3,92	4,47
5. Фон — 4,5 т/га ФГ	0,08	0,18	3,21	4,03	4,85
НСР ₀₅			0,12	0,26	0,22



Отмечена положительная динамика по длине и диаметру корнеплода. К концу вегетации длина корнеплода на вариантах с внесением ФГ достигала 9,3-11,5 см, на контроле — 9,0 см (табл. 1).

Развитие стержневого корня моркови опережает развитие листового аппарата. Через 2 месяца после всходов его толщина у корневой шейки моркови колебалась от 2,32 см (контроль) до 3,02-3,21 см (при внесении ФГ). К концу вегетации диаметр корнеплодов на вариантах с внесением ФГ составлял от 4,06 до 4,85 см, для сравнения на контроле — 3,62 см (табл. 2).

Листовая поверхность растений моркови невелика, что связано с усиленным ростом корня. Внесение ФГ стимулировало развитие более мощного листового аппарата. К концу вегетации среднее количество листьев на одном растении моркови колебалось от 11,9 до 13,7 шт. (табл. 3).

Урожайность моркови усиленно формируется в последнюю четверть периода вегетации. Это происходит благодаря оттоку органических веществ из листовой массы растений. Поэтому масса листьев розетки снижалась до 45,7-60,7 г/растение (табл. 4).

Морковь отличается невысокой требовательностью к элементам минерального питания. Темп выноса элементов питания, особенно фосфора и калия, усиливается лишь с образованием корнеплодов. Результаты исследований показали, что к периоду 9.08.2021 г. средняя масса корнеплодов моркови на вариантах с внесением ФГ составляла 84,0-89,6 г, в то время как на контроле — 51,6 г (табл. 5).

К периоду уборки урожая максимальная масса корнеплода моркови в варианте с внесением 4,5 т/га ФГ составляла 155,1 г, или 172% к контролю.

Урожайность является главным показателем эффективности агротехнических приемов. Полученные данные показали, что урожайность корнеплодов моркови при внесении ФГ колебалась от 29,1 до 33,8 т/га и превышала показатели контрольного варианта на 21,8-41,4%. Лучшие результаты получены в варианте с использованием 4,5 т/га ФГ (табл. 6).

Результаты анализа качества корнеплодов моркови показали, что по всем определяемым показателям максимальное их содержание отмечено в контрольном варианте (табл. 7). Содержание сухого вещества колебалось от 14,02 до 16,66%. Максимальное содержание общего сахара — 8,1% отмечено на контрольном варианте, на вариантах с внесением фосфогипса содержание общего сахара колебалось от 6,9 до 7,6%. Содержание витамина С на вариантах с внесением фосфогипса колебалось от 4,475 до 5,722 мг%, а массовая доля каротина составляла от $0,39 \times 10^3$ до $0,60 \times 10^3$.

Агрохимический анализ почвенных образцов, взятых перед уборкой урожая, показал, что почва хорошо обеспечена по калию, низко обеспечена по фосфору и обеспечена по азоту (табл. 8). Содержание щелочно-гидролизуемого азота составляло 49-77 мг/кг; подвижных форм фосфора — 29-55 мг/кг, подвижного калия — 171-248 мг/кг. Содержание подвижных форм тяжелых металлов (мг/кг) составляло: по цинку — 0,36-0,65 мг/кг, меди — 0,18-0,29 мг/кг, свинцу — 1,1-1,7 мг/кг, кадмию — <0,05 мг/кг,

никелю — 2,4-2,8 мг/кг, фторид иону — 4,33-6,41 мг/кг (табл. 9).

Таким образом, полученные результаты показывают, что в условиях третьей сухостепной зоны при возделывании моркови при

капельном поливе урожайность с использованием фосфогипса колебалась от 29,1 до 33,8 т/га, прибавка составила 21,8-41,4%. Максимальная урожайность получена при внесении ФГ в дозе 4,5 т/га.

Таблица 3. Динамика нарастания листьев на 1 растении моркови, шт.

Table 3. Dynamics of leaf growth on 1 carrot plant, pcs.

Вариант	Дата проведения наблюдений				
	22.06.	7.07.	22.07.	9.08.	24.08.
1. Контроль	6,0	6,3	8,3	9,9	10,1
2. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀ — фон	6,4	7,6	9,8	10,3	10,5
3. Фон — 1,5 т/га ФГ	6,7	8,4	9,9	11,0	11,9
4. Фон — 3,0 т/га ФГ	6,6	8,5	10,7	12,8	12,3
5. Фон — 4,5 т/га ФГ	6,8	8,6	10,8	13,0	13,7
НСР ₀₅	0,3	0,8	0,4	0,2	0,4

Таблица 4. Масса ботвы 1 растения моркови, г

Table 4. Tops weight 1 carrot plant, g

Вариант	Дата проведения наблюдений				
	22.06.	7.07.	22.07.	9.08.	24.08.
1. Контроль	12,0	30,8	50,0	57,8	45,7
2. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀ — фон	14,8	35,0	55,4	63,2	50,4
3. Фон — 1,5 т/га ФГ	9,0	40,8	59,4	66,6	55,5
4. Фон — 3,0 т/га ФГ	11,8	41,6	61,8	69,6	58,6
5. Фон — 4,5 т/га ФГ	12,4	43,2	60,8	67,8	60,7
НСР ₀₅	3,1	4,4	4,4	3,1	4,9

Таблица 5. Динамика формирования массы корнеплода моркови, г

Table 5. Dynamics of formation of the mass of carrot root crops, g

Вариант	Дата проведения наблюдений				
	22.06.	7.07.	22.07.	9.08.	24.08.
1. Контроль	2,4	16,0	42,2	51,6	90,1
2. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀ — фон	3,0	17,2	53,8	83,6	100,5
3. Фон — 1,5 т/га ФГ	3,2	18,2	62,0	85,8	131,2
4. Фон — 3,0 т/га ФГ	2,8	19,2	64,8	84,0	149,6
5. Фон — 4,5 т/га ФГ	2,8	20,5	63,2	89,6	155,1
НСР ₀₅	F _Ф < F _т	0,8	8,7	21,4	8,8

Таблица 6. Влияние фосфогипса на урожайность моркови

Table 6. Effect of phosphogypsum on carrot yield

Вариант	Средняя масса корнеплода, г	% к контролю	Диаметр корнеплода, см	% к контролю	Урожайность	
					т/га	% к контролю
1. Контроль	90,1	100,0	3,8	100,0	23,9	100,0
2. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀ — фон	100,5	111,5	4,0	92,5	27,2	113,8
3. Фон — 1,5 т/га ФГ	131,2	145,6	4,2	105,0	29,1	121,8
4. Фон — 3,0 т/га ФГ	149,6	166,0	4,9	117,5	31,4	131,4
5. Фон — 4,5 т/га ФГ	155,1	172,1	5,0	120,0	33,8	141,4
НСР ₀₅	8,8	-	0,2	-	2,1	-

Таблица 7. Качество корнеплодов моркови

Table 7. Quality of carrot roots

Вариант	Определяемый показатель				
	содержание сухого вещества	массовая доля общего сахара	массовая доля каротина	массовая доля	
				нитратного азота, мг/кг	витамина С, мг%
	%				
1. Контроль	16,66	8,1	0,76x10 ³	<7	7,379
2. N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀ — фон	14,91	7,7	0,58x10 ³	<7	7,357
3. Фон — 1,5 т/га ФГ	14,02	6,9	0,39x10 ³	<7	5,722
4. Фон — 3,0 т/га ФГ	15,89	7,5	0,60x10 ³	<7	5,144
5. Фон — 4,5 т/га ФГ	14,46	7,6	0,52x10 ³	<7	4,475



Таблица 8. Влияние фосфогипса на изменение агрохимических свойств почвы
Table 8. Influence of phosphogypsum on changes in the agrochemical properties of the soil

Вариант	Слой, см	Перед внесением фосфогипса						В конце вегетации моркови					
		определяемый показатель						определяемый показатель					
		рН водный, ед. рН	азот щелочно-гидролизующий	фосфор подвижный	калий обменный	гумус, %	емкость катионного обмена, моль/100 г	рН водный, ед. рН	азот щелочно-гидролизующий	фосфор подвижный	калий обменный	гумус, %	емкость катионного обмена, моль/100 г
мг/кг													
1. Контроль	0-20	7,3	70	37	240	2,33	33,18	7,1	63	33	128	2,24	29,10
	20-40	7,5	56	51	325	1,88	20,68	7,2	49	45	288	1,73	27,16
2. N ₉₀ , P ₁₂₀ , K ₆₀ — фон	0-20	7,4	84	38	232	2,40	26,37	7,3	63	41	116	2,27	21,34
	20-40	7,6	63	51	292	1,97	20,42	7,5	56	44	275	1,84	23,28
3. Фон — 1,5 т/га ФГ	0-20	7,5	77	41	228	2,45	18,39	7,4	70	37	168	2,28	21,34
	20-40	7,6	56	56	295	2,07	19,71	7,5	53	29	204	1,98	25,22
4. Фон — 3,0 т/га ФГ	0-20	7,8	77	47	271	2,40	27,14	7,6	63	46	164	2,34	23,28
	20-40	7,6	35	60	292	1,36	28,33	7,4	50	36	279	1,22	25,22
5. Фон — 4,5 т/га ФГ	0-20	7,5	77	51	248	2,52	30,25	7,4	77	48	168	2,37	27,16
	20-40	7,7	42	55	274	1,46	22,96	7,6	49	47	271	1,25	27,16

Таблица 9. Влияние фосфогипса на содержание тяжелых металлов в почве
Table 9. Effect of phosphogypsum on heavy metals in soil

Вариант	Слой, см	Перед внесением фосфогипса						В конце вегетации моркови					
		содержание подвижных форм						содержание подвижных форм					
		Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	F	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	F
мг/кг													
1. Контроль	0-20	0,30	0,14	1,1	<0,05	<2,5	0,63	0,35	0,26	1,6	<0,05	2,2	4,74
	20-40	0,33	0,12	1,2	<0,05	<2,5	0,84	0,33	0,24	1,3	<0,05	2,6	5,07
2. N ₉₀ , P ₁₂₀ , K ₆₀ — фон	0-20	0,39	0,17	1,2	<0,05	2,4	0,63	0,43	0,23	1,3	<0,05	2,4	4,45
	20-40	0,40	0,15	1,7	<0,05	<2,5	0,92	0,38	0,21	1,2	<0,05	2,5	5,21
3. Фон — 1,5 т/га ФГ	0-20	0,32	0,16	1,8	<0,05	3,0	0,78	0,41	0,26	1,6	<0,05	2,6	4,63
	20-40	0,34	0,13	1,6	0,08	<2,5	0,78	0,39	0,25	1,7	<0,05	2,5	5,32
4. Фон — 3,0 т/га ФГ	0-20	0,33	0,17	1,5	0,07	<2,5	0,72	0,46	0,25	1,6	<0,05	2,4	5,72
	20-40	0,35	0,14	1,2	0,09	<2,5	0,94	0,42	0,22	1,2	<0,05	2,5	6,73
5. Фон — 4,5 т/га ФГ	0-20	0,34	0,17	1,4	0,08	2,8	0,73	0,50	0,20	1,6	<0,05	2,6	4,95
	20-40	0,36	0,15	1,3	0,07	2,7	0,85	0,58	0,19	1,5	<0,05	2,7	5,46

Список источников

- Некрасов Р.В., Шеуджен А.Х., Байбеков Р.Ф., Аканова Н.И., Шкуркин С.И. Агроэкономические и экологические аспекты химической мелиорации засоленных почв // Земледелие. 2021. № 8. С. 3-7.
- Бекбаев Р. Мелиоративная эффективность фосфогипса на орошаемых землях бассейна рек Аса-Талас // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 1. С. 5-11.
- Калиниченко В.П. Эффективное использование фосфогипса в земледелии // Питание растений. 2017. № 1. С. 2-33.
- Аканова Н.И., Шеуджен А.Х., Андреев А.А., Визирская М.М., Лиманский А.Н. Научное обоснование использования отходов промышленности в качестве вторичных ресурсов в сельскохозяйственном производстве // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 6. С. 48-53.
- Окорков В.В. Перспективы и пути использования фосфогипса для повышения плодородия кислых почв. Владимир, 2007. 76 с.
- Федотова Л.С., Князева Е.В., Тимошина Н.А. Агроэкологическая оценка применения фосфогипса в специализированном севообороте с картофелем на дерново-подзолистой почве // Питание растений. 2017. № 4. С. 2-8.
- Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н. Использование фосфогипса нейтрализованного на посевах риса в качестве поликомпонентного удобрения. Сообщение I // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2015. № 09 (113). С. 244-262. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/09/pdf/20.pdf>
- Белюченко И.С., Муравьев Е.И. Влияние отходов промышленного и сельскохозяйственного производства

на физико-химические свойства почв // Экологический вестник Северного Кавказа. 2009. Т. 5. № 1. С. 84-86.

9. Добрыднев Е.П., Локтионов М.Ю. Основные результаты исследования агроэкологической эффективности фосфогипса в земледелии Краснодарского края // Плодородие. 2013. № 1. С. 7-9.

10. Белюченко И.С., Антоненко Д.А. Влияние сложного компоста на агрегативный состав и водно-воздушные свойства чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2015. № 7. С. 858-864.

11. Яковлева А.С., Канискин М.А., Терехова В.А. Экологическая оценка почвогрунтов, подверженных воздействию фосфогипса // Почвоведение. 2013. № 6. С. 737-743.

12. Kolesnikov, S.I., Rotina, E.N., Kazeev, K.S. (2013). Technology of evaluation methods of soil remediation effectiveness according to biological indicators. *Middle East Journal of Scientific Research*, vol. 17, no. 7, pp. 914-918.

13. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Хачмак П.Н., Галай Н.С., Зоз О.В. Эффективность применения фосфогипса нейтрализованного в рисовом севообороте // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 12 (54). С. 163-197.

14. Юркова Р.Е. Приемы инактивации тяжелых металлов и восстановления почвенного плодородия орошаемых земель // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 1. С. 1-12.

15. Шершнева О.В. Оценка воздействия отходов фосфогипса на компоненты окружающей среды // Экологический вестник. 2016. № 2 (36). С. 97-103.

16. Hilton, J. (2010). Phosphogypsum (PG): Uses and Current Handling Practices Worldwide. In: Proc. 25th Annual Lakeland Regional Phosphate Conference. Lakeland, USA.

17. Fuleihan, Nadim F. (2011). *Phosphogypsum disposal — The pros & cons of wet versus dry stacking*. Florida, 11p.

References

- Nekrasov, R.V., Sheudzhen, A.Kh., Baibekov, R.F., Akanova, N.I., Shkurkin, S.I. (2021). Agroekonomicheskie i ehkologicheskie aspekty khimicheskoi melioratsii zasolenykh pochv [Agroecological and ecological aspects of chemical melioration of saline soils]. *Zemledelie*, no. 8, pp. 3-7.
- Bekbaev, R. (2017). Meliorativnaya ehffektivnost' fosfogipsa na oroshaemykh zemlyakh basseina rek Asa-Talas [Meliorative efficiency of phosphogypsum on irrigated lands of the basin of the rivers Asa-Talas]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 1, pp. 5-11.
- Kalinichenko, V.P. (2017). Ehffektivnoe ispol'zovanie fosfogipsa v zemledelii [Effective use of phosphogypsum in agriculture]. *Pitanie rastenii* [Plant nutrition], no. 1, pp. 2-33.
- Akanova, N.I., Sheudzhen, A.Kh., Andreev, A.A., Vizirskaya, M.M., Limanskii, A.N. (2017). Nauchnoe obosnovanie ispol'zovaniya otkhodov promyshlennosti v kachestve vtorichnykh resursov v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve [Scientific substantiation of the use of industrial waste as secondary resources in agricultural production]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 6, pp. 48-53.
- Okorkov, V.V. (2007). *Perspektivy i puti ispol'zovaniya fosfogipsa dlya povysheniya plodorodiya kisl'lykh pochv* [Perspects and ways of using phosphogypsum to increase the fertility of acidic soils]. Vladimir, 76 p.
- Fedotova, L.S., Knyazeva, E.V., Timoshina, N.A. (2017). Agroekologicheskaya otsenka primeniya fosfogipsa v spetsializirovannom sevooborote s kartofelem na dernovo-podzolistoi pochve [Agroecological assessment of the use of phosphogypsum in specialized crop rotation with potatoes on turf-podzolic soil]. *Pitanie rastenii* [Plant nutrition], no. 4, pp. 2-8.



7. Sheudzen, A.Kh., Bondareva, T.N. (2015). Ispol'zovanie fosfogipsa neitralizovannogo na posevakh risa v kachestve polikomponentnogo udobreniya. Soobshchenie I [Use of phosphogypsum neutralized on rice crops as a polycomponent fertilizer. Messages. I]. *Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal KuBGAU* [Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University], no. 09 (113), pp. 244-262. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2015/09/pdf/20.pdf>

8. Belyuchenko, I.S., Murav'ev, E.I. (2009). Vliyaniye otkhodov promyshlennogo i sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva na fiziko-khimicheskie svoystva pochv [The influence of waste industrial and agricultural production on the physico-chemical properties of soils]. *Ehkologicheskii Vestnik Severnogo Kavkaza* [The North Caucasus ecological herald], vol. 5, no. 1, pp. 84-86.

9. Dobrydnev, E.P., Loktionov, M.Yu. (2013). Osnovnye rezul'taty issledovaniya agroehkologicheskoi ehffektivnosti fosfogipsa v zemledelii Krasnodarskogo kraia [The main results of the study of the agroecological efficiency of

phosphogypsum in agriculture of the Krasnodar Territory]. *Plodorodie* [Fertility], no. 1, pp. 7-9.

10. Belyuchenko, I.S., Antonenko, D.A. (2015). Vliyaniye slozhnogo komposta na agregativnyi sostav i vodno-vozdushnye svoystva chernozema obyknovennogo [The influence of complex compost on the aggregate composition and water-air properties of ordinary chernozem]. *Pochvovedenie* [Soil science], no. 7, pp. 858-864.

11. Yakovleva, A.S., Kanis'kin, M.A., Terekhova, V.A. (2013). Ehkologicheskaya otsenka pochvogrunтов, podverzhennykh vozdeistviyu fosfogipsa [Ecological assessment of soils exposed to phosphogypsum]. *Pochvovedenie* [Soil science], no. 6, pp. 737-743.

12. Kolesnikov, S.I., Rotina, E.N., Kazeev, K.S. (2013). Technology of evaluation methods of soil remediation effectiveness according to biological indicators. *Middle East Journal of Scientific Research*, vol. 17, no. 7, pp. 914-918.

13. Sheudzen, A.Kh., Bondareva, T.N., Khachmuk, P.N., Galai, N.S., Zoz, O.V. (2016). Ehffektivnost' primeneniya fosfogipsa neitralizovannogo v risovom sevooborote [The effectiveness of the use of phosphogypsum neutralized

in rice crop rotation]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International research journal], no. 12 (54), pp. 163-197.

14. Yurkova, R.E. (2012). Priemy inaktivatsii tyazhelykh metallov i vosstanovleniya pochvennogo plodorodiya orshaemykh zemel' [Methods of inactivation of heavy metals and restoration of soil fertility of irrigated lands]. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii* [Scientific journal of the Russian Research Institute of Problems of Melioration], no. 1, pp. 1-12.

15. Shershnev, O.V. (2016). Otsenka vozdeistviya otkhodov fosfogipsa na komponenty okruzhayushchei sredy [Assessment of the impact of phosphogypsum waste on environmental components]. *Ehkologicheskii vestnik* [Ecological bulletin], no. 2 (36), pp. 97-103.

16. Hilton, J. (2010). Phosphogypsum (PG): Uses and Current Handling Practices Worldwide. In: Proc. 25th Annual Lakeland Regional Phosphate Conference. Lakeland, USA.

17. Fuleihan, Nadim F. (2011). *Phosphogypsum disposal — The pros & cons of wet versus dry stacking*. Florida, 11p.

Информация об авторах:

Аканова Наталья Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией агрохимии органических, известковых удобрений и химической мелиорации, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>, n_akanova@mail.ru

Холомьева Лидия Николаевна, начальник агрономической службы, АО «Апатит», ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7127-308X>, ldubrovskikh@phosagro.ru

Можаренко Михаил Николаевич, кандидат биологических наук, главный специалист, АО «Апатит», ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9607-3228>, mozarenko@mail.ru

Байрамбеков Шамиль Байрамбекович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, ООО «Виридис», ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3193-8256>, vviridis@mail.ru

Гулин Александр Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства — филиал Прикаспийского аграрного федерального научного центра Российской академии наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1586-4189>, al_gulin@mail.ru

Information about the authors:

Natalia I. Akanova, doctor of biological sciences, professor, head of the laboratory of agrochemistry of organic, lime fertilizers and chemical reclamation, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3153-6740>, n_akanova@mail.ru

Lydia N. Kholomyeva, head of agronomic service, JSC "Apatit", ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7127-308X>, ldubrovskikh@phosagro.ru

Michael N. Mozharenko, candidate of biological sciences, chief specialist, JSC "Apatit", ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9607-3228>, mozarenko@mail.ru

Shamil B. Bayrambekov, doctor of agricultural sciences, professor, director, LLC "Viridis", ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3193-8256>, vviridis@mail.ru

Alexander V. Gulin, candidate of agricultural sciences, director, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable Growing and Melon Growing — branch of the Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1586-4189>, al_gulin@mail.ru

✉ n_akanova@mail.ru

Издательство «Электронная наука» выпускает научные журналы на русском и английском языках.

Нам доверяют авторы по всему миру. Количество наших читателей, в том числе и в Интернете, более **55 тысяч** человек ежемесячно.

ЖУРНАЛЫ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ЭЛЕКТРОННАЯ НАУКА»



«Московский экономический журнал» (МЭЖ) зарегистрирован как сетевое ежемесячное издание.

- **МЭЖ** — научно-практический журнал, который включен в перечень ВАК и размещается в научных базах AGRIS, РИНЦ.
- **Миссия журнала** — создание условий для интеграции современных достижений экономической науки и эффективного бизнеса.

Контакты: <https://kje.su>, e-science@list.ru

