

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОГИПСА В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Л.Н. Холомьева¹, С.И. Шкуркин², Н.И. Аканова², К.Е. Денисов³, М.Н. Можаренко¹

¹АО «Апатит», Москва, Россия

²ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

³ФГБОУВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И.Вавилова» с. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3

Рассмотрена возможность использования побочного продукта химической промышленности – фосфогипса (ФГ) в качестве мелиоранта и комплексного фосфорсеросодержащего минерального удобрения. Урожай зерна сои при внесении доз 2-8 т/га ФГ повышался от 2,39 до 2,67 т/га, прибавка урожая от фосфогипса составила 14,4-27,8%. Лучшие результаты получены при внесении 6,0 т/га ФГ. При этом наблюдалось значительное улучшение качества зерна сои: увеличение содержания белка на 2,5-3,9% и жира на 1,2-2,5% в зависимости от дозы фосфогипса.

Ключевые слова: фосфогипс, соя, урожайность, фосфор, сера, качество зерна, орошение.

Для цитирования: Холомьева Л.Н., Шкуркин С.И., Аканова Н.И., Денисов К.Е., Можаренко М.Н. Агроэкологическая и экономическая эффективность применения фосфогипса в орошаемом земледелии// Плодородие. – 2023. – №4. – С. 87-90. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.21.

Разработка новых технологических и научных подходов к комплексной утилизации побочных продуктов и отходов промышленности - актуальная задача для решения современных агрономических, экономических и экологических проблем регионов [1, 2].

Фосфогипс (ФГ) является многотоннажным побочным продуктом, образующимся при производстве фосфорной кислоты из фосфатного сырья. В настоящее время в мировом производстве перерабатывается не более 2% получаемого ежегодно ФГ [3, 4]. В основном он складывается в наземные отвалы и только в России ежегодно поступает 14 млн т. Транспортировка ФГ, устройство экранов под отвалами, нейтрализация образующихся при хранении ФГ сточных вод связаны с большими финансовыми затратами. При этом экологическая нагрузка на территорию возрастает [5-7].

Один из перспективных путей утилизации и переработки фосфогипса – использование его в сельскохозяйственном производстве в качестве комплексного фосфорсеросодержащего минерального удобрения и химического мелиоранта [8-9]. Мировая практика применения ФГ в земледелии показала, что это высокоэффективный и экологически безопасный продукт, способствующий повышению плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур [10]. Применение ФГ на засоленных почвах приводит к их рассолонцеванию и расщелачиванию, а на деградированных кислых низкоплодородных почвах - к стабилизации кислотно-основных свойств и повышению содержания подвижных форм фосфора и серы [11].

Цель исследований - оценить эффективность применения нейтрализованного фосфогипса в системе удобрения сои в условиях орошения. Задача исследований состояла в выявлении действия возрастающих доз ФГ на формирование урожая и качества семян сои и в исследовании динамики изменения агрохимических, физико-механических параметров почвы. Регион проведения опыта - Саратовская область.

Методика. ФГ вносили весной под культивацию, повторность опыта 4-кратная, площадь учетной делянки 25 м², расположение делянок систематическое. Технология возделывания сои в условиях дифференцированного режима орошения общепринятая для условий Саратовской области. За вегетационный период проводили 8 поливов общей нормой 2760 м³/га. Высевали сорт сои Мезенка. Норма высева 800 тыс. всхожих семян на 1 га.

В почвенных образцах определяли плотность почвы методом режущего кольца, содержание нитратов ионометрическим методом по ГОСТ 26951-86, подвижных форм фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ГОСТ 26205-91, органического вещества по ГОСТ 26213-91, pH водной вытяжки по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85), подвижной серы по ГОСТ 26490-85, гидролитическую кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), обменного кальция и магния по ГОСТ 26487-85, обменного натрия по ГОСТ 26950-86.

Анализ структуры урожая проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989) [2]. Показатели качества зерна сои определяли на инфракрасном анализаторе Инфраскан - 1050.

Опыты по исследованию агроэкологической эффективности применения ФГ были проведены на темно-каштановых тяжелосуглинистых крупнопылевато-илловатых почвах в 2020-2022 г. в севообороте УНПО «Поволжье» Саратовского ГАУ. Содержание гумуса в почве экспериментального участка 2,8%, мощность гумусового горизонта $A + B_1 = 41$ см, вскипание на глубине 46-75 см, $pH_{вод.}$ 6,73, сумма поглощенных оснований 22,0–32,89 мг-экв/100 г почвы. В составе поглощенных оснований преобладал обменный кальций (77,4–85,8%), доля катионов магния составляет 12,1–20,0%, содержание натрия 1,0–1,7%. Содержание нитратного азота 3,6 мг/кг, подвижного фосфора – 29,7 обменного калия K_2O – 320 мг/кг почвы.

Анализ климатических условий проведения опытов показал, что по значению гидротермического коэффициента (ГТК) увлажнения Селянинова условия 2021 г. характеризовались как очень засушливые, ГТК составил 0,43, сумма осадков за тёплый период выше 10°C - 138,9 мм. В среднем за вегетационный период температура окружающей среды превысила норму на 1,7°C.

2022 г. характеризовался как умеренно жаркий и влажный. Сумма осадков в апреле составила 35,2 мм, что соответствует 166% от среднегодовой нормы, при этом температура была выше климатической нормы на 4,7°C. В мае температура воздуха была ниже среднемесячных значений на 5,3°C, количество осадков - 172% от нормы. Июнь был влажный, выпало на 9,1 мм осадков больше среднемесячной нормы, температурный режим был близок к среднемесячным показателям. Количество осадков в июле составило 75,0 мм, или 476% от нормы. Среднесуточная температура воздуха была выше нормы на 3,6°C.

Схема опыта состояла из шести вариантов:

1. Контроль (б/у);
2. 100 кг/га Аммофос - Фон;
3. Фон + 2,0 т/га ФГ;
4. Фон + 4,0 т/га ФГ;
5. Фон + 6,0 т/га ФГ;
6. Фон + 8,0 т/га ФГ.

Полевой опыт проводили в соответствии с общепринятыми рекомендациями Б.А. Доспехова и программно-методическими указаниями ВНИИС им. И.В. Мичурина.

Результаты и их обсуждение. Плотность почвы является интегральным показателем плодородия. В проведенных исследованиях плотность почвы изменялась при внесении ФГ пропорционально дозе внесения мелиоранта (табл. 1).

1. Плотность почвы в посевах сои, г/см³ (в среднем за 2021-2022 г.)

Вариант опыта	Посев				Уборка урожая			
	Слой почвенного профиля, см							
	0-10	10-20	20-30	0-30	0-10	10-20	20-30	0-30
Контроль (б/у)	1,10	1,25	1,32	1,22	1,35	1,38	1,42	1,38
Фон (Ф) – аммофос, 100 кг/га	1,10	1,24	1,31	1,22	1,32	1,36	1,41	1,36
Ф + 2 т/га ФГ	1,09	1,22	1,31	1,21	1,26	1,30	1,35	1,30
Ф + 4 т/га ФГ	1,07	1,20	1,30	1,19	1,24	1,27	1,33	1,28
Ф + 6 т/га ФГ	1,06	1,19	1,31	1,19	1,23	1,25	1,32	1,27
Ф + 8 т/га ФГ	1,05	1,17	1,31	1,18	1,22	1,24	1,30	1,23

В среднем за два года действия ФГ показатель плотности почвы перед уборкой урожая сои колебался от 1,38 г/см³ на контроле до 1,23 г/см³ на фоне максимальной дозы ФГ. В фоновом варианте отмечено снижение плотности в слое 0-30 см на 0,02 г/см³, при внесении ФГ - на 0,08-0,13 г/см³. Наименьшая плотность была в варианте с внесением 8 т/га ФГ. Использование ФГ уменьшало процессы уплотнения почвы к уборке тем эффективнее, чем выше была его доза: при дозе 2 т/га ФГ сдвиг составил 0,16 г/см³, при дозе 8 т/га ФГ - 0,7 г/см³.

Применение ФГ способствовало увеличению содержания элементов питания в почве, изменению уровня кислотности почвенного раствора и содержания органического вещества (табл. 2).

Внесение разных доз ФГ в последствии оказало влияние на pH_{H2O} и гидролитическую кислотность почвы. С увеличением дозы ФГ происходило

увеличение pH. В фоновом варианте pH в сравнении с контролем практически не изменился. Гидролитическая кислотность снижалась под действием ФГ. В контрольном варианте этот показатель составил 0,7 ммоль/100 г почвы, в зависимости от дозы внесения ФГ - от 0,5 ммоль/100 г почвы при внесении 2 т/га до 0,3 ммоль/100 г почвы при дозе 8 т/га.

2. Изменение агрохимических показателей почвы (2022 г.)

Вариант опыта	pH	Содержание в почве			
		Гумус, %	NO ₃	P ₂ O ₅	S
			мг/кг		
Контроль (б/у)	6,13	1,8	3,40	17,3	3,8
Фон (Ф) – аммофос, 100 кг/га	6,15	1,9	3,60	19,0	4,3
Ф + 2 т/га ФГ	6,20	1,9	4,50	21,0	15,3
Ф + 4 т/га ФГ	6,23	2,0	5,30	27,0	27,3
Ф + 6 т/га ФГ	6,27	2,1	6,00	32,70	38,2
Ф + 8 т/га ФГ	6,35	2,0	6,60	37,30	50,1
НСП ₀₅	0,21	0,3	0,84	1,3	2,4

Содержание гумуса по вариантам опыта изменялось незначительно, однако наблюдался тренд на увеличение при внесении ФГ. Наибольшим этот показатель был при внесении 8 т/га ФГ.

Значительно увеличивалось содержание подвижного фосфора: в фоновом варианте оно возросло по сравнению с контролем на 9,8%, а при внесении ФГ - на 21,39 - 117,64%. Наибольшее содержание фосфора в почве было в варианте с внесением 8 т/га ФГ.

Включение ФГ в систему питания сои обусловило значительное улучшение азотного режима питания растений. Содержание нитратного азота в почве увеличилось по сравнению с контрольным вариантом, особенно при внесении 8 т/га ФГ. Показатель увеличивался по мере повышения дозы ФГ, максимальная прибавка относительно контрольного варианта составила 3,2 мг/кг.

Содержание серы в почве при внесении аммофоса и ФГ также имело тенденцию к повышению по мере увеличения дозы мелиоранта. Максимальное увеличение относительно контрольного варианта отмечалось при внесении 8 т/га ФГ.

Определение структуры урожая сои в 2021 г. позволило установить влияние различных доз ФГ на формирование урожайности сои (табл. 3).

Минеральные удобрения в сочетании с различными дозами ФГ оказали влияние на массу 1000 зерен. Наименьшим показатель был в контрольном варианте. В фоновом варианте масса 1000 зерен превосходила контрольный вариант на 2,0%. Наибольшим показатель был при внесении 6 т/га ФГ, однако использование 8 т/га ФГ привело к некоторому снижению массы 1000 зерен - на 3,7%.

Число выполненных бобов на одно растение так же увеличивалось под влиянием минеральных удобрений и ФГ. В условиях применения ФГ в зависимости от дозы показатель возрастал на 6,0-11,0 шт. Выявлена прямая зависимость количества выполненных бобов от дозы ФГ, максимальная величина отмечена в варианте с внесением 6 т/га, однако при дозе 8 т/га происходило уменьшение параметра на 23,8%.

Внесение ФГ обусловило увеличение количества зерен в бобе в сравнении с контрольным вариантом на 3,3 - 7,5%. На фоне доз 2-6 т/га ФГ в бобе увеличивалось число зерен, однако внесение ФГ в дозе 8 т/га привело к снижению показателя, который превосходил

контрольный вариант на 3,3%, но был меньше, чем в других вариантах с внесением ФГ на 3,9%.

3. Структура урожая сои

Вариант опыта	Число выполненных бобов на 1 растение		Число зерен в 1 бобе		Масса 1000 зерен, г	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Контроль (б/у)	10,0	9,0	2,12	2,10	126,0	128,5
Фон (Ф) – аммофос, 100 кг/га	13,0	11,0	2,14	2,11	128,5	130,0
Ф + 2 т/га ФГ	17,0	15,0	2,21	2,16	130,8	131,5
Ф + 4 т/га ФГ	19,0	18,0	2,26	2,18	132,6	132,4
Ф + 6 т/га ФГ	21,0	20,0	2,28	2,20	134,5	134,5
Ф + 8 т/га ФГ	16,0	15,0	2,19	2,14	129,5	130,5
НСР ₀₅	1,3	1,2	0,11	0,09	1,7	1,9

В 2022 г. масса 1000 зерен в фоновом варианте превосходила контрольный вариант на 1,5 г. Наибольшим показателем был в варианте совместного применения Аммофоса и 6 т/га ФГ, в варианте с внесением 8 т/га ФГ отмечено снижение показателя.

Количество выполненных бобов на одно растение также увеличивалось под влиянием ФГ. Применение ФГ в зависимости от дозы повышало показатель на 6,0-11,0 шт. по сравнению с контрольным вариантом, наибольшим он был при внесении 6 т/га ФГ. Однако при увеличении дозы до 8 т/га происходило уменьшение количества выполненных бобов на одно растение на 33,3%.

Количество зерен в бобе также изменялось. В зависимости от дозы ФГ отмечено увеличение показателя. Однако, при дозе внесения 8 т/га ФГ показатель снизился на 2,3% в сравнении с дозой 6 т/га и был минимальным.

Востребованность продукции растениеводства на рынке определяется ее качеством, для сои показателем качества служит содержание белка и жира в семенах (табл. 4).

4. Влияние фосфогипса на содержание белка в зерне сои

Вариант опыта	Содержание белка, %		Прибавка к контролю, %		Сбор белка, кг/га		Прибавка к контролю, кг/га	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Контроль (б/у)	42,5	41,3	-	-	863	764	-	-
Фон (Ф) – аммофос, 100 кг/га	44,8	42,1	2,3	0,8	981	838	118	74
Ф + 2 т/га ФГ	47,9	43,8	5,4	2,5	1207	986	344	222
Ф + 4 т/га ФГ	48,0	44,7	5,5	3,4	1286	1086	423	322
Ф + 6 т/га ФГ	49,1	45,2	6,6	3,9	1380	1144	517	380
Ф + 8 т/га ФГ	47,0	44,6	4,5	3,3	1161	972	298	208
НСР ₀₅	0,9	0,6						

В 2021 г. содержание белка в зерне сои колебалось. При внесении ФГ в зависимости от дозы содержание белка увеличилось на 4,5-6,6%, максимальным показателем был в варианте с внесением 6 т/га ФГ. При внесении 8 т/га ФГ содержание белка в зерне сои превышало контрольный вариант на 4,5%, однако было наименьшим среди всех вариантов внесения фосфогипса.

В 2022 г. по вариантам опыта содержание белка в зерне сои колебалась. Внесение ФГ способствовало увеличению содержания белка в зависимости от дозы на 2,5-3,9%, наибольшим показателем был в варианте с внесением 6 т/га. При повышении дозы ФГ до 8 т/га содержание белка в зерне сои было выше контрольного варианта на 3,3%, однако это было ниже, чем в варианте с внесением 6 т/га ФГ на 0,6%.

Плодородие №4-2023

Содержание жира в зерне сои в 2021 г. по вариантам опыта было ниже, чем в 2022 г. В последствии ФГ в 2022 г. оно по всем вариантам увеличилось: на контроле на 5,3%, при внесении 6 т/га - на 24,1%.

Применение минеральных удобрений и ФГ в 2022 г. увеличивало содержание жира на 3,6-17,9%: в фоновом варианте показатель возрастал на 3,6%, при внесении ФГ на 8,6-17,9%. Наибольшее содержание жира было в варианте с применением 6 т/га ФГ, что превышало контроль на 17,9%. Повышение содержания жира в зерне и увеличение урожайности способствовали значительному росту сбора жира с 1 га (табл. 5). В варианте с внесением 6,0 т/га по сравнению с фоновым вариантом сбор жира увеличился в 1,45 раза.

5. Качество зерна сои

Вариант опыта	2021 г.		2022 г.		Содержание жира, % (в ср. за 2 года)	Сбор жира, кг/га
	Содержание жира, %	± к контролю, %	Содержание жира, %	± к контролю, %		
Контроль (б/у)	13,3	-	14,0	-	13,7	265,8
Фон (Ф) – аммофос, 100 кг/га	14,0	0,7	14,5	0,5	14,3	298,9
Ф + 2 т/га ФГ	14,6	1,3	15,2	1,2	14,9	356,1
Ф + 4 т/га ФГ	15,1	1,8	15,9	1,9	15,5	396,8
Ф + 6 т/га ФГ	15,6	2,3	16,5	2,5	16,1	429,9
Ф + 8 т/га ФГ	14,2	0,9	16,3	2,3	15,3	356,5
НСР ₀₅	0,5		0,6			

Важнейшим при оценке любого агроприема является урожайность. Урожай зерна сои в опыте был ниже в 2021 г. по сравнению с 2022 г. Выявленные закономерности в каждом году были аналогичными: внесение ФГ в зависимости от дозы линейно увеличивало урожайность на 7,9-38,4%, однако при внесении 8 т/га ФГ урожайность сои снижалась по сравнению с максимальным показателем (табл. 6).

6. Урожайность сои, т/га

Вариант опыта	Урожайность			Прибавка урожая зерна		
	2021 г.	2022 г.	в среднем за 2 года	общая		от ФГ, %
				т/га	%	
Контроль (б/у)	1,85	2,03	1,94	-	-	-
Фон (Ф) – аммофос, 100 кг/га	1,99	2,19	2,09	0,15	7,7	-
Ф + 2 т/га ФГ	2,25	2,52	2,39	0,45	23,2	14,4
Ф + 4 т/га ФГ	2,43	2,68	2,56	0,62	32,0	22,5
Ф + 6 т/га ФГ	2,53	2,81	2,67	0,73	37,6	27,8
Ф + 8 т/га ФГ	2,18	2,47	2,33	0,39	20,1	11,5
НСР ₀₅	0,04	0,058				

Наибольшая прибавка урожая отмечена в варианте с внесением 6,0 т/га ФГ. Разница с контрольным вариантом в 2021 г. составляла 36,8%, или 0,68 т/га и 38,4%, или 0,78 т/га в 2022 г. В варианте с внесением 8 т/га ФГ урожайность в 2021 и 2022 г. превышала контрольный вариант на 0,33 и 0,44 т/га соответственно.

В среднем за два года по вариантам опыта внесение фосфогипса увеличивало урожайность в зависимости от дозы в сравнении с контролем на 23,2-37,6%, а в сравнении с фоновым вариантом на 14,4-27,8%.

Наибольшая прибавка урожайности в среднем за два года отмечена в варианте с внесением 6 т/га ФГ, разница с контрольным вариантом составляла 37,6%, или 0,73 т/га. В варианте с внесением 8 т/га ФГ урожайность

зерна сои превышала контрольный вариант на 0,39 т/га, или на 20,1%. Она была ниже варианта с внесением 6,0 т/га ФГ на 0,34 т/га, или на 12,7%.

Наиболее значимыми экономическими показателями в растениеводстве являются: прямые затраты средств при возделывании сои, стоимость выращенной продукции с 1 га, себестоимость производства 1 т продукции, условно чистый доход и уровень рентабельности. Прямые затраты средств при возделывании сои в 2022 г. повышались. При расчете учитывали только затраты на внесение ФГ (табл. 7).

7. Экономическая эффективность применения ФГ (2022 г.)

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Стоимость продукции	Затраты	Условный чистый доход	Себестоимость 1 т зерна, тыс. руб.	Уровень рентабельности, %
		тыс. руб/га				
Контроль (б/у)	2,03	89,32	40,2	49,12	19,80	122,19
Фон (Ф) – аммофос, 100 кг/га	2,19	96,36	43,2	53,16	19,73	123,06
Ф + 2 т/га ФГ	2,52	110,88	43,8	67,08	17,38	153,15
Ф +4 т/га ФГ	2,68	117,92	44,4	73,52	16,57	165,59
Ф + 6 т/га ФГ	2,81	123,64	45,0	78,64	16,01	174,76
Ф + 8 т/га ФГ	2,47	108,68	45,6	63,08	18,46	138,33

Аналогичная тенденция наблюдалась и относительно стоимости продукции.

Себестоимость 1 т зерна имела тенденцию к снижению. В фоновом варианте себестоимость 1 т зерна снизилась на 0,07 тыс. руб., или менее 1%. Применение ФГ в возрастающих дозах привело к снижению себестоимости продукции на 1,34 тыс. руб. Наименьшая себестоимость была в варианте Фон + 6 т/га ФГ.

Внесение ФГ способствовало повышению условного чистого дохода. Максимальный условный чистый доход получен в варианте с внесением 6 т/га ФГ.

Наиболее рентабельным был вариант Фон + 6 т/га ФГ, здесь была получена и максимальная урожайность сои. В фоновом варианте отмечено повышение рентабельности относительно контрольного варианта на 0,87%. Включение в систему питания ФГ в возрастающих дозах увеличивало рентабельность.

Заключение. Внесение ФГ в сочетании с минеральными удобрениями способствовало снижению плотности почвы: к уборке она была ниже контрольного варианта на 0,02-0,13 г/см³. С увеличением дозы ФГ эффект разуплотнения усиливался. Наименьшая плотность наблюдалась при внесении 8 т/га ФГ. Отмечается улучшение кислотно-основных свойств почвы, уровень pH повысился с 6,0 до 6,6. С возрастанием дозы ФГ увеличивалось содержание доступного фосфора и подвижной

серы, наибольшее значение достигалось при внесении 8 т/га ФГ.

В условиях орошения внесение 6 т/га ФГ обеспечивало получение наибольшей прибавки урожая сои – 37,6%, или 0,73 т/га. При этом содержание белка превышало контрольный вариант на 8,0%, а содержание жира – на 16,43%.

С экономической точки зрения внесение фосфогипса было выгодным. Так при возделывании сои наибольший уровень рентабельности был в варианте с внесением 6 т/га ФГ, он составлял 174,76%.

Литература

1. Вальков В.Ф. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Изд. 2-е. / В.Ф. Вальков, Т.В. Денисова, К.Ш. Казеев [и др.]. – Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального ун-та, 2010. – 416 с.
2. Плотиных А.М., Тарабаев В.П. Эффективность использования фосфогипса и минеральных удобрений в звене севооборота // Современные проблемы земледелия Зауралья и пути их научно обоснованного решения: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию Курганского НИИСК и 100-летию Шадринского опытного поля, 2014. – С. 176-179.
3. Кихаев Г.С., Терещенко Е.В. Влияние фосфогипса в качестве серосодержащего удобрения на прорастание семян озимой пшеницы // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства / Ответственный редактор профессор А.И. Трубилин, 2009. – С. 204-207.
4. Локтионов М.Ю., Добрыднев Е.П., Шеуджен А.Х. Онищенко Л.М. Агроэкологическая эффективность фосфогипса на черноземе выщелоченном // Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс», 2013. – № 09(13). – Т. 2. – С. 187-194.
5. Аканова Н.И., Дубровских Л.Н., Денисов К.Е. Эффективность применения фосфогипса на темно-каштановых почвах в посевах подсолнечника // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2021. – № 1 (379). – С. 7-11.
6. Горлов А.А. изменение химического состава почв под влиянием фосфогипса // XXIII международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов-2016", 2016. – С. 106-107.
7. Нигматзянов А.С. Использование фосфогипса в сельском хозяйстве для улучшения свойств почвы // Modern Science. – 2020. – № 6-4. – С. 186-190.
8. Окорков В.В. Фосфогипс и его использование в земледелии // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Сборник докладов XV Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева», 2020. – С. 277-282.
9. Соседенко Т.Ю., Пичугина А.С., Васькин С.М. Фосфогипс в качестве удобрения // Молодой ученый. – 2020. – № 47 (337). – С. 433-435.
10. Цховребов В.С., Умаров А.Б., Фаизова В.И., Сенькова Л.А., Новиков А.А. Влияние фосфогипса и удобрений на содержание элементов питания в черноземе южном и урожайность озимой пшеницы // Земледелие. – 2019. – № 7. – С. 15-17.
11. Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Бондарева Т.Н., Есипенко С.В. Последствие фосфогипса на посевах озимой пшеницы, выращиваемой на черноземе выщелоченном // Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур. Материалы докладов участников 9-й научно-практической конференции "Анапа-2016" / Под ред. В.Г. Сычева, 2016. – С. 185-186.

AGROECOLOGICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF PHOSPHOGYPSUM IN IRRIGATED AGRICULTURE

L.N. Holomyeva, Mozharensko M.N., JSC "Apatit", Moscow, Russia

Shkurkin S.I., Akanova N.I., FGBNU "VNII Agrochemistry". 127550, Moscow, Pryanishnikova st., 31A.;

Denisov K.E., Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Saratov Ave. Pyotr Stolypin, zd. 4, p. 3

The article discusses the possibility of using a by-product of the chemical industry – phosphogypsum (FG) as an ameliorant and a complex phosphorus sulfur-containing mineral fertilizer. The yield of soybean grain with doses of 2-8 t/ha FG increased from 2,39 to 2,67 t/ha, the increase in yield from phosphogypsum was 14,4-27,8%. The best results were obtained with the introduction of 6.0 t/ha FG. At the same time, there was a significant improvement in the quality of soybean grain: an increase in protein content by 2,5-3,9% and fat by 1,2-2,5%, depending on the dose of phosphogypsum.

Keywords: phosphogypsum, soybeans, yield, phosphorus, sulfur, grain quality, irrigation.