

ВЛИЯНИЕ ФОСФОГИПСА НЕЙТРАЛИЗОВАННОГО НА СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА В ПОЧВЕ И ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЧЕРНОЗЁМЕ СЛАБОСОЛОНЦЕВАТОМ

Ю.И. Гречишкина¹, В.П. Егоров², А.В. Матвиенко²

¹ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический 12, lnwg@mail.ru

²ФГБУ Государственный центр агрохимической службы «Ставропольский», 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 65, psh@stavhim.ru

На основании производственного опыта изучено влияние фосфогипса нейтрализованного на содержание мышьяка в чернозёме слабосолонцеватом и зерне озимой пшеницы в условиях Центрального Предкавказья. В опыте были представлены следующие варианты внесения мелиоранта: контроль (хозяйственный минеральный фон без внесения мелиоранта), 5, 10, 15 и 20 т/га фосфогипса. В слое почвы 0–20 см в вариантах с 5, 10 и 20 т/га фосфогипса выявлено статистически достоверное снижение содержания мышьяка относительно контроля (–0,58, –0,46 и –0,40 мг/кг соответственно), а вариант с 15 т/га фосфогипса эффекта не оказал. В слое почвы 20–40 см фосфогипс продемонстрировал достоверное снижение содержания мышьяка во всех вариантах опыта (–0,57, –0,6, –0,42 и –0,52 мг/кг соответственно). В обоих слоях почвы содержание мышьяка существенно ниже (в 3,2–4,1 раза) ориентировочно допустимых концентраций. Между слоями почвы установлена сильная прямая корреляционная зависимость, коэффициент которой равен 0,76. Содержание мышьяка в зерне озимой пшеницы оказалось за гранью определения выбранного метода и находится в диапазоне менее 0,025 мг/кг, что ниже предельно допустимой концентрации по меньшей мере в 8 раз. Следовательно, по данному показателю продукция полностью безопасна.

Ключевые слова: чернозём, солонцеватые почвы, мышьяк, озимая пшеница, нейтрализованный фосфогипс, химическая мелиорация, щелочные почвы.

Для цитирования: Гречишкина Ю.И., Егоров В.П., Матвиенко А.В. Влияние фосфогипса нейтрализованного на содержание мышьяка в почве и зерне озимой пшеницы на чернозёме слабосолонцеватом // Плодородие. – 2023. – №4. – С. 92–94. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.22.

Увеличение урожайности сельскохозяйственных культур повышает антропогенную нагрузку на окружающую среду. Бесконтрольное использование агрохимикатов и проведение мелиоративных мероприятий без соответствующего проектирования могут негативно сказаться на содержании токсичных веществ в почве.

Один из методов повышения продуктивности солонцов и солонцовых земель – химическая мелиорация. В условиях Ставропольского края для неё рациональней всего использовать накопленные запасы фосфогипса [13].

Фосфогипс является отходом производства фосфорсодержащих удобрений. Для соблюдения экологических требований по его хранению проводят нейтрализацию известью, так как отвалы фосфогипса представляют серьезную угрозу окружающей среде [1].

Для агроэкологической оценки фосфогипса нейтрализованного был заложен опыт по его внесению на чернозёме слабосолонцеватом. Солонцеватые чернозёмы характеризуются слитым профилем, наличием натрия в почвенном поглощающем комплексе, часто высокой ёмкостью поглощения и тяжёлым гранулометрическим составом [2, 4].

С одной стороны, фосфогипс может являться потенциальным источником поступления мышьяка в почву и окружающую среду, так как его изготавливают из природного сырья, содержащего данный элемент. Так фосфориты могут содержать 0,4–188 мг/кг мышьяка, а апатиты – 1–1000 мг/кг [9].

С другой стороны, фосфогипс прошёл процесс нейтрализации известью, которая рекомендована для использования при рекультивации земель, загрязнённых тяжёлыми металлами и токсикантами. Кроме того, он

сам по себе содержит кальций и фосфор, которые снижают подвижность мышьяка в почве и ограничивают его поступление в растения [5, 8].

Мышьяк является высокоопасным загрязняющим веществом. Его содержание в окружающей среде и сельскохозяйственной продукции подлежит систематическому контролю. Источниками его поступления в почву могут быть агрохимикаты, шахтные воды, отходы металлургических предприятий и сельскохозяйственные дренажные воды [9].

По данным комплексного мониторинга состояния почв, проводимого агрохимической службой Ставропольского края, среднее содержание мышьяка в почвах края составляет в среднем 4,63 мг/кг. Для почв Андроповского муниципального округа, в условиях которого был проведён опыт с внесением фосфогипса, данный показатель составляет 2,66 мг/кг (по состоянию на 01.01.2022 г.).

Цель исследования – на основе данных производственного опыта определить влияние фосфогипса нейтрализованного на содержание общего мышьяка в чернозёме обыкновенном слабосолонцеватом и в зерне озимой пшеницы в условиях зоны умеренного увлажнения Центрального Предкавказья.

Условия, материалы и методы. Исследования проводятся в рамках опыта «Агроэкологическая оценка применения фосфогипса нейтрализованного на чернозёмах слабосолонцеватых Центрального Предкавказья». Опыт включён в сеть длительных опытов по исследованию направленности процессов и путей регулирования физико-химических и агрохимических свойств различных типов почв, их питательного режима в условиях действия химической мелиорации и применения известь- и

гипсосодержащих отходов промышленности. Сеть опытов ведётся под методическим руководством ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова».

Место проведения — производственные опыты, заложенные на землях с.-х. назначения муниципального образования с. Крымгиреевского Андроповского муниципального округа Ставропольского края.

В соответствии с принятой системой агроклиматического зонирования Ставропольского края, участок находится в зоне неустойчивого увлажнения. Количество выпадающих за год осадков — 450-550 мм, гидротермический коэффициент — 0,9-1,1, сумма температур — 3000-3200°C [12]. Почвенный покров участка — чернозём обыкновенный слабосолонцеватый глубоко-сильно-солончаковатый малогумусный среднеспелый.

Опыт однофакторный с систематическим размещением делянок. Перед закладкой опыта проведено агрохимическое обследование участка. Пахотный горизонт опытного участка содержал в среднем — 5,1% органического вещества, 32 мг/кг подвижного фосфора, 423 мг/кг подвижного калия. Реакция pH водного раствора составляет 7,7 [6].

Также в почвенных образцах было определено содержание обменных форм кальция, магния и натрия. На основе полученных данных проведён расчёт дозы фосфогипса нейтрализованного, позволяющей обеспечить оптимальный мелиорирующий эффект — 10 т/га [8]. На её основе подобраны дозы мелиоранта на полном минеральном фоне:

1. Фон — $N_{30}P_{52}K_{30}$ (контроль).
2. Фон + фосфогипс, 5 т/га.
3. Фон + фосфогипс, 10 т/га.
4. Фон + фосфогипс, 15 т/га.
5. Фон + фосфогипс, 20 т/га.

В опыте использовали фосфогипс нейтрализованный производства ООО «ЕвроХим — Белореченские Минудобрения». Характеристика фосфогипса нейтрализованного приведена ниже.

Основные физико-химические свойства	Значение, %
Массовая доля основного вещества ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) в пересчете на сухой дигидрат, не менее	92
Массовая доля гигроскопической (сверхкристаллизационной) воды на момент отгрузки, не более	20
Массовая доля водорастворимых фтористых соединений, в пересчете на фтор, не более	0,3
Массовая доля частиц (комков) размером: более 10 мм от 5 до 10 мм, не более более 1 мм, не более	Отсутствие 20 Не нормируется

Внесен он по паровому предшественнику перед посевом озимой пшеницы, с заделкой в почву на глубину 22-24 см.

Для опыта выбран зернопропашной севооборот, звено севооборота — озимая пшеница, озимая пшеница, подсолнечник. Предшественник — пар.

Посев озимой пшеницы проведен 08 ноября 2021 г. Сорт озимой пшеницы — Адель. Нормы высева — 220 кг/га. Сеялка Amazone DMC 9000. Трактор — New Holland 5670.

По итогам первого года наблюдений 29 июля 2022 г. был проведён контрольный отбор почвенных образцов на опытном участке. С каждой делянки отобраны

смешанные почвенные образцы из горизонтов 0-20 и 20-40 см.

Определение мышьяка осуществлено в испытательной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Ставропольский» по методикам, принятым для массовых исследований:

- в зерне озимой пшеницы — по ГОСТ 26930-86;
- в почве — по МУ по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом, МСХ, ЦИНАО, 1993.

Обработку данных исследования проводили методом математического анализа, согласно указаний методики полевого опыта [3].

Результаты и их обсуждение. При биологическом учёте урожая с каждой опытной делянки были сформированы образцы зерна. Затем после уборки культуры с опытного участка был проведён отбор почвенных образцов по горизонтам 0-20 и 20-40 см (табл. 1).

1. Содержание мышьяка в зерне озимой пшеницы и почве, мг/кг

Вариант опыта	Слой 0-20 см		Слой 20-40 см		Зерно
	показатель	разница с контролем	показатель	разница с контролем	
1. Фон — $N_{30}P_{52}K_{30}$ (контроль)	3,12	-	3,03	-	<0,025
2. Фон + фосфогипс, 5 т/га	2,54	-0,58	2,46	-0,57	<0,025
3. Фон + фосфогипс, 10 т/га	2,66	-0,46	2,43	-0,60	<0,025
4. Фон + фосфогипс, 15 т/га	3,15	+0,03	2,61	-0,42	<0,025
5. Фон + фосфогипс, 20 т/га	2,72	-0,40	2,51	-0,52	<0,025
ОДК/ПДК	/10,00	-	/10,00	-	0,2/
R	-		0,76		-
НСР ₀₅	0,24		0,14		-
F ₀₅	3,48		3,48		-
F _ф	13,18		5,93		-

Содержание мышьяка в зерне озимой пшеницы ниже диапазона определения метода, используемого в ГОСТе 26930-86. Возможное содержание мышьяка в зерне ниже ПДК (0,2 мг/кг) более чем в 8 раз. Таким образом, продукция по данному показателю полностью безопасна.

Статистическая обработка анализов почвы по горизонтам 0-20 и 20-40 см показала достоверность результатов.

В слое 0-20 см вариантов с 5, 10 и 20 т/га фосфогипса отмечено снижение содержания мышьяка. Вариант с дозой внесения фосфогипса 15 т/га статистически достоверной разницы с контролем не показал. Для слоя 20-40 см все варианты опыта дали достоверное снижение мышьяка в почве относительно контроля.

Коэффициент корреляции содержания мышьяка в слоях почвы 0-20 и 20-40 см составляет 0,76, что показывает сильную прямую корреляционную зависимость этих двух показателей [11].

Ориентировочно допустимая концентрация мышьяка по санитарным нормам для близких к нейтральным, нейтральным (суглинистым и глинистым) почвам составляет 10 мг/кг [7]. Следовательно, в слое 0-20 см содержание мышьяка ниже в 3,2-3,9 раза, а в слое 0-40 см — в 3,3-4,1 раза.

Выводы. На основании полученных данных, полагаем, что в первый год после внесения фосфогипса нейтрализованный, с точки зрения загрязнения почвы и сельскохозяйственной продукция мышьяком, полностью безопасен.

Кроме того, на основании достоверных результатов по снижению содержания мышьяка по сравнению с контролем практически во всех вариантах опыта (за исключением варианта с 15 т/га на глубине почвы 0-20 см), можно сделать вывод о возможности применения фосфогипса нейтрализованного для рекультивации земель, загрязненных мышьяком.

Содержание мышьяка в исследованных слоях почвы находится в прямой корреляционной зависимости, коэффициент которой составляет 0,76. При этом фосфогипс оказал большее влияние на слой 20-40 см. Об этом говорит достоверное снижение по всем вариантам опыта (в отличие от слоя 0-20 см, где в варианте с 15 т/га изменений не произошло).

Содержание мышьяка в варианте опыта с расчётной дозой фосфогипса 10 т/га для слоя 0-20 см составило 2,66 мг/кг, для слоя 20-40 см — 2,43 мг/кг. Данные показатели ниже контроля на 0,46 и 0,60 мг/кг соответственно. Считаем, что достичь этого позволили оптимальный мелиорирующий эффект и создание благоприятных почвенных условий для миграции мышьяка за пределы исследованных горизонтов. Содержание мышьяка в несколько раз ниже ПДК/ОДК.

Литература

1. *Агроэкологическая эффективность нейтрализованного фосфогипса, как химического мелиоранта и фосфорсодержащего минерального удобрения в условиях богарного земледелия Краснодарского края* / Н. И. Аканова, А. Х. Шейджен, М. М. Визирская, А. А. Андреев // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – № 2. – С. 32-37.
2. *Гречишкина Ю.И.* Чернозёмы Центрального Предкавказья: монография / Ю.И. Гречишкина, В.Г. Сычев, М.С. Сигида, А.В. Бурлай.

- Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет (АГРУС), 2020. – 456 с.
3. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований / Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
 4. *Засоленные почвы Ставрополя и пути их мелиорации: монография* / Е. И. Годунова. – Ставрополь: ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»; изд-во «Ставрополь-Сервис-Школа», 2022. – 466 с.
 5. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
 6. *Лабораторные методы определения показателей почвенного плодородия. Термины и определения в агрохимии: учебник* / Ю. И. Гречишкина, В. Г. Сычев, А. В. Матвиенко. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2023. – 212 с.
 7. *Постановление* Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2 (ред. от 30.12.2022) "Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (вместе с "СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы...") (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62296).
 8. *Приёмы* повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование): науч.-метод. реком. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 116 с.
 9. *Путилина, В. С.* Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах. Трансформация, адсорбция / десорбция, миграция = Arsenic behaviour in soils, rocks and groundwater. Transformation, adsorption / desorption, migration: аналит. обзор / В. С. Путилина, И. В. Галицкая, Т. И. Юганова; Учреждение Рос. акад. наук Гос. публич. науч.-техн. 6-ка Сиб. отд-ния РАН, Учреждение Рос. акад. наук Ин-т геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2011. – 249 с. (Сер. Экология. Вып. 97).
 10. *Рекомендации по использованию фосфогипса для мелиорации солонцов.* – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2006.
 11. *Самсонова, В. П.* К вопросу об интерпретации коэффициента корреляции при анализе почвенных и экологических данных / В. П. Самсонова, С. Е. Дядькина // *Agrochemistry and ecology problems.* – 2022. – №1. – С. 38-40.
 12. *Справочник агрохимика Ставрополя* // Сост. Чекмарев П. А., Ситников В. Н., Егоров В. П. [и др.]. Ставрополь: ООО «Дизайн-студия Б», 2019. – 644 с.
 13. *Сычев В. Г., Гречишкина Ю. И., Егоров В. П., Матвиенко А. В.* Проблемы гипсования солонцовых почв в Ставропольском крае // *Плодородие.* – 2021. – №5. – С. 37-43

THE EFFECT OF NEUTRALIZED PHOSPHOGYPSUM ON THE ARSENIC CONTENT IN THE SOIL AND WINTER WHEAT GRAIN ON SLIGHTLY SALINE CHERNOZEM IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL CAUCASUS

Grechishkina Yu.I.¹, Egorov V.P.², Matvienko A.V.²

¹Stavropol State Agrarian University "Stavropol State Agrarian University" 355017, Russia, Stavropol Territory, Stavropol, lane. Zootechnical 12, lmg@mail.ru

²Federal State Budgetary Institution State Center of Agrochemical Service "Stavropol", 356241, Russia, Stavropol Territory, Mikhailovsk, Nikonova str., 65, psh@stavhim.ru

Based on the production experience, the effect of neutralized phosphogypsum on the arsenic content in slightly saline chernozem and winter wheat grain in the conditions of the Central Caucasus was studied. In the experiment, the following options for applying a meliorant were presented: control, 5, 10, 15 and 20 t /ha of phosphogypsum. In the 0-20 cm soil layer on variants with 5, 10 and 20 t/ha of phosphogypsum, a statistically significant decrease in the arsenic content relative to the control was revealed (-0.58, -0.46 and -0.40 mg/kg respectively), phosphogypsum had no effect on the variant with 15 t/ha. In a soil layer of 20-40 cm, phosphogypsum demonstrated a significant decrease in arsenic content in all variants of the experiment (-0.57, -0.6, -0.42 and -0.52 mg/kg, respectively). In both layers of the soil, the arsenic content is significantly lower (3.2-4.1 times) than the approximate permissible concentrations. A strong direct correlation has been established between the soil layers, the coefficient of which is 0.76. The arsenic content in winter wheat grain was beyond the definition of the chosen method and is in the range of less than 0.025 mg/kg, which is at least 8 times lower than the maximum permissible concentration. Therefore, according to this indicator, the products are completely safe.

Keywords: chernozems, brackish soils, arsenic, winter wheat, neutralized phosphogypsum, chemical reclamation, alkaline soils.