

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТА ПЕРЕРАБОТКИ K-MG РУД КАК КОМПЛЕКСНОЙ МЕЛИОРИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ В ПРЕДУРАЛЬЕ *

Д.Г. Шишков, *Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*

К.Н. Корляков, *Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*

М.Т. Васбиева, *Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*

Л.Г. Цёма, *Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*

А.Ф. Сметанников, *Горный институт УрО РАН*

В.Р. Ямалтдинова, *Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*

Для цитирования:

Шишков Д.Г., Корляков К.Н., Васбиева М.Т., Цёма Л.Г., Сметанников А.Ф., Ямалтдинова В.Р. Использование продукта переработки K-MG руд как комплексной мелиорирующей добавки на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в Предуралье // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2022. – № 4. – С. 26–34. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2022.4.3>

Представлены результаты исследования продукта высокотемпературного обжига отходов переработки калий-магниевых руд (огарка) как комплексной мелиорирующей добавки для повышения урожайности и качества картофеля сорта Горняк, а также плодородия дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. Исследования проводили в Пермском НИИСХ в 2020-2022 гг. Последствие применения огарка под картофель повышало его урожайность на 3,88 т/га, действие совместно с применением полного минерального удобрения N60P60K90 – на 9,64 т/га, однако относительно минерального удобрения прибавка меньше НСР05 (0,81 т/га при НСР05=1,23 т/га). Отмечена тенденция снижения негативного влияния минеральных удобрений на содержание сухого вещества и крахмала в клубнях картофеля при их совместном применении с огарком. Применение комплексной мелиорирующей добавки улучшало кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы, однако в меньшей степени, по сравнению с применением извести. За счёт включения в состав мелиорирующей добавки фосфоритной муки в почве происходило накопление подвижного фосфора, увеличение содержания подвижного калия не выявлено.

Ключевые слова: отходы горно-рудной промышленности, шламы, мелиоранты, картофель, дерново-подзолистая почва.

* Работа выполнена в рамках государственного задания; номер государственной регистрации темы АААА-А20-120120990010-1.

Введение

Картофель клубненосный (*Solanum tuberosum* L.) – является одной из важнейших продовольственных, кормовых и технических культур в России и мире. При возможной хозяйственной урожайности культуры в 40–50 т/га, в среднем по России она составляет 10–15 т/га, что связано как с негативным воздействием погодных условий, так и с возделыванием зачастую по экстенсивным технологиям [1–2]. В Пермском крае, по данным Росстата, эта цифра за 2017–2021 гг. варьировала от 10,1 до 15,9 т/га [3], картофель возделывается на площадях от 18,3 до 19,9 тыс. га, из которых большая часть (от 13,5 до 15,6 тыс. га) это личные подсобные хозяйства.

Одновременно с этим существует проблема накопления глинисто-солевых отходов переработки калийно-магниевых руд (шламов), выработка которых на Верхнекамском калийном месторождении составляет около 3 млн тонн в год.

К настоящему времени в отвалах месторождения накопилось более 200 млн т отходов. Шламы оказывают сильное негативное влияние на экосистему, поэтому вопрос их утилизации стоит достаточно остро для всех регионов с калийными месторождениями, в том числе и для Пермского края [4–5].

С 2014 г. в Пермском НИИСХ – филиале ПФИЦ УрО РАН, проводятся исследования по использованию продуктов переработки К-Mg руд как альтернативного комплексного (содержащего как макро-, так и микроэлементы) удобрения пролонгированного действия.

Предшествующими исследованиями продуктов переработки отходов выработки К-Mg руд (огарков), установлена их низкая эффективность как источника калийного питания. Несмотря на то, что огарки не вызвали загрязнение агрофитоценоза и не ухудшали качества продукции, внедрение

их в качестве калийного удобрения в сельскохозяйственное производство представляется сложным [6]. В связи с тем, что по данным минералогического и элементного анализов было установлено высокое содержание в огарках СаО (7,0–13,2 масс.%) и MgO (4,0–12,4 масс.%), входящих в минералы акерманит и пироксен, а также некоторого количества микроэлементов (преимущественно меди и цинка), было принято решение рассмотреть продукты высокотемпературного обжига как комплексную мелиорирующую добавку.

Картофель относится к культурам, которые предпочитают слабокислую реакцию среды. Основными негативными последствиями известкования под картофель являются снижение его качества при недостаточном минеральном питании, поражение паршой, затруднение поступления бора, калия и магния [7–10]. Однако в научной литературе имеются сведения о том, что низкие дозы (по 0,5 Нг) известки не оказывают вышеуказанного негативного влияния при использовании таких известковых материалов, как доломитовая мука и сланцевая зола, содержащих не только карбонаты кальция, но и магния, качество и урожайность клубней картофеля могут даже повышаться, особенно на почвах с рН 5,0 и меньше [7, 10, 11]. Поэтому поиск альтернативы для известки как основного мелиоранта, нейтрализующего почвенную кислотность, является актуальной задачей в рамках развития гибкой системы удобрения при реализации элементов адаптивно-ландшафтного земледелия.

Таким образом, целью исследования являлось рассмотрение продукта переработки К-Mg руд как комплексной минеральной добавки, его влияния на урожайность и качество картофеля, а также на агрохимические показатели дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в сравнении с известью.

Методика эксперимента

Исследования проводили в полевом опыте с 2020 по 2022 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве на центральном опытном поле «Пермского НИИ-ИСХ» – филиала ПФИЦ УрО РАН. Объектами исследования являлись картофель сорта Горняк и продукт высокотемпературной обработки калий-магниевых руд.

Схема опыта:

1. Контроль (без удобрений).
2. Известь.
3. Огарок.
4. NPK – фон.
5. Фон + известь (последействие).
6. Фон + огарок (последействие).
7. Фон + известь (внесение 2 раза).
8. Фон + огарок (внесение 2 раза).

На вариантах 7 и 8 внесение мелиорантов проводили 2 раза – в 2020 г. и 2022 г. На остальных вариантах с применением огарков и извести их вносили только в 2020 г., а в 2022 г. учитывали последействие. Дозы извести и огарка были рассчитаны исходя из содержания суммы карбонатов кальция и магния в мелиорантах (98,75% у извести и 34,96% у огарка), пересчёт делали на нейтрализацию 0,5 гидrolитической кислотности (Нг). Дозы азотных (N), фосфорных (P) и калийных (K) удобрений составляли 60,

60 и 90 кг действующего вещества (д.в.)/га, соответственно.

Повторность опыта 3-кратная, расположение вариантов последовательное, площадь делянки 18 м². Агротехника общепринятая для семеноводческих посадок картофеля в Пермском крае, схема посадки 75×50 см.

Учёт урожайности проводили вручную, математическая обработка результатов и лабораторные анализы качества продукции и агрохимических показателей почв проводились по общепринятым методикам и ГОСТам.

Технология переработки исходных шламов для получения огарка включает следующие операции: отмывку исходных шламов, обогащение, грануляцию, высокотемпературный обжиг при температуре 900°С. В состоянии исходной суспензии происходит смешивание шламов с фосфоритной мукой, которая так же при внесении в почву обладает пролонгированным действием.

Результаты

Вегетационный период 2022 года характеризовался в целом как засушливый и жаркий (рис. 1). Растения картофеля испытывали дефицит влаги в почве и воздухе в течение всего периода роста,

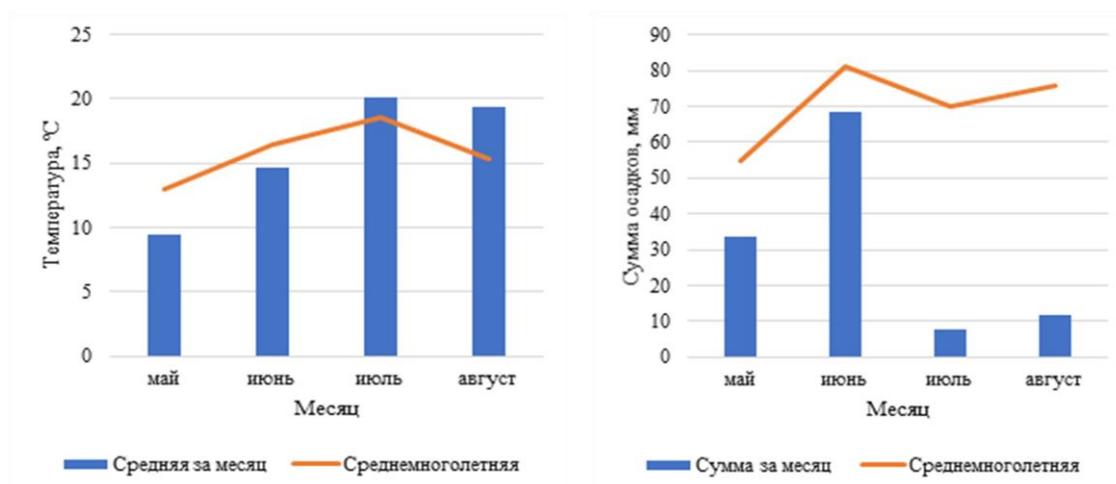


Рис. 1. Метеоусловия вегетационного периода 2022 г.: а – средняя температура, б – сумма осадков

Влияние применения огарков на урожайность и элементы структуры урожайности картофеля, 2022 г.

Вариант	Урожайность			Масса клубней, г/куст	Количество клубней, шт./куст	Средняя масса клубня, г
	т/га	Прибавка				
		к контролю	к фону			
Контроль	8,63	–	–	317,8	11,6	28,2
Огарок (п/д)	12,51	3,88	–	258,8	11,6	22,7
Известь (п/д)	14,76	6,13	–	407,6	13,2	31,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ - фон	17,47	8,84	–	380,0	14,0	29,1
Фон + огарок (п/д)	13,74	5,11	-3,73	394,0	14,4	28,3
Фон + известь (п/д)	9,75	1,12	-7,71	298,0	10,4	30,3
Фон + огарок	18,27	9,64	0,81	387,2	17,8	21,8
Фон + известь	11,47	2,84	-6,00	449,3	15,6	29,2
НСР ₀₅		1,23		89,4	4,0	F _ф <F _т

повышенная температура относительно среднемноголетних значений наблюдалась в июле и августе, что является неблагоприятными условиями для периода клубнеобразования.

Применение огарка совместно с минеральным удобрением не оказывало математически достоверного влияния на урожайность картофеля – прибавка составила 0,81 т/га (НСР₀₅ = 1,23 т/га) (табл. 1). Последствие применения данного продукта, как с применением NPK, так и без него, увеличивало урожайность картофеля только относительно варианта без применения удобрений на 5,11 и 3,88 т/га. Относительно фона отмечено снижение урожайности. Связано это может быть в том числе и с погодными условиями вегетационного периода 2022 г., а именно с повышенной температурой и низкой влажностью в период клубнеобразования.

В 2022 году в результате внесения комплексной мелиорирующей добавки совместно с минеральными удобрениями увеличивалось количество клубней на куст – на 6,2 шт./куст относительно контроля при НСР₀₅ = 4,0, однако увеличение происходило в первую очередь за счёт применения NPK (прибавка относительно фона составила 3,8 шт./куст). На

массу клубней с куста применение огарков не оказывало влияния.

На рис. 2 представлены доли фракции товарного (масса клубня больше 40 г) и семенного (масса клубня от 20 до 80 г) картофеля в структуре урожайности. При внесении огарка (последствие без применения NPK и действие с применением NPK) отмечена тенденция к снижению доли товарного картофеля в урожае – снижение относительно контроля происходило на 12,2% в варианте с последствием огарка, на 8,2% – в варианте с применением огарка совместно с минеральными удобрениями.

В условиях вегетационного периода 2022 г. мелиоранты не оказывали достоверного влияния на показатели качества картофеля (табл. 2). Однако, при совместном применении NPK и огарка отмечена тенденция к снижению негативного влияния минеральных удобрений на некоторые показатели качества картофеля. Так, применение NPK вызывало снижение содержания сухого вещества относительно контроля на 1,8%, однако при добавлении к минеральному удобрению огарка содержание сухого вещества устанавливалось на уровне контроля, что не наблюдалось

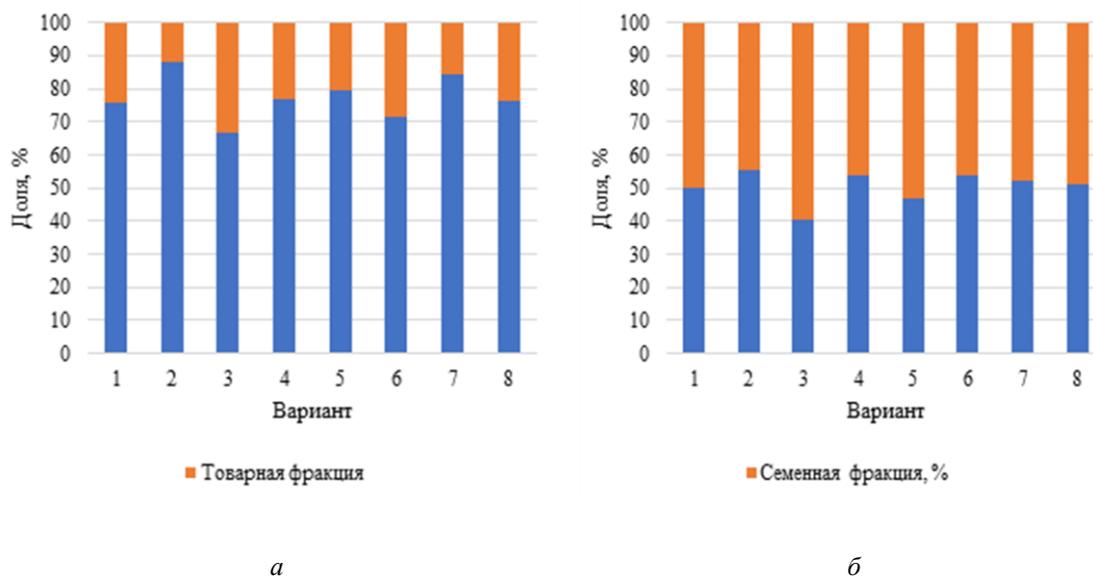


Рис. 2. Доля товарной (а) и семенной (б) фракции в структуре урожайности картофеля, %, 2022 г.: 1 – контроль, 2 – огарок (п/д), 3 – известь (п/д), 4 – фон, 5 – фон + огарок (п/д), 6 – фон + известь (п/д), 7 – фон + огарок, 8 – фон + известь

как при внесении извести совместно с НРК, так и при последствии мелиорантов. Схожая тенденция характерна и для содержания крахмала: снижение показателя на 1,7% относительно контроля при внесении НРК практически полностью нивелировалось как внесением огарка, так

и внесением (в большей степени) и последствием внесения извести.

В табл. 3 представлена агрохимическая характеристика дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы до начала опыта. До внесения удобрений почва характеризовалась среднекислой реакцией среды

Влияния применения огарков на показатели качества картофеля, 2022 г.

Таблица 2

Вариант	Сухое вещество, %	Нитраты, мг/кг	Крахмал, %
Контроль	24,2	47	15,8
Огарок (п/д)	24,0	41	14,9
Известь (п/д)	24,1	46	15,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ - фон	22,5	47	14,1
Фон + огарок (п/д)	22,5	42	14,5
Фон + известь (п/д)	23,3	50	15,2
Фон + огарок	24,2	45	15,5
Фон + известь	22,8	46	15,3
НСР ₀₅	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт

Кислотно-основные свойства и содержание подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве, 2020 г.

Таблица 3

Слой	рН _{KCl}	S	Hг	P ₂ O ₅	K ₂ O
		ммоль/100 г почвы		мг/кг	
Апах, 0-20 см	4,8-5,0	16,0-19,2	2,05-2,60	139-203	132-162

по pH_{KCl} и гидролитической кислотности (H_g), повышенным уровнем суммы поглощённых оснований (S). Степень обеспеченности растений подвижными соединениями фосфора (P_2O_5) изменялась по полю от повышенной до высокой, калия (K_2O) находилась на уровне повышенной. Потребность в известковании оценивалась как средняя.

Применение извести и огарка оказывало влияние на pH_{KCl} (рис. 2,а). Математически доказуемое влияние на показатель обменной кислотности оказывало только применение извести совместно с минеральными удобрениями (вариант 8). Тенденции к повышению отмечены при последствии применения извести без минеральных удобрений (вариант 3) и применении огарка совместно с NPK (вариант 7), однако такие колебания могут быть обусловлены сезонными изменениями показателя pH_{KCl} .

Показатель гидролитической кислотности имел тенденцию к снижению при совместном применении извести и огарка с минеральными удобрениями на 0,2 ммоль/100 г (варианты 7 и 8, рис. 3, б). Стоит отметить, что динамика изменений величин гидролитической кислотности и по-

казателя pH_{KCl} , позволяет сделать вывод о том, что при применении огарка в условиях 2022 г. проявлялся мелиорирующий эффект продукта высокотемпературного обжига шламов, однако в меньшей степени, чем при применении извести.

На рис. 3, в показана динамика изменения суммы обменных оснований. Ни один из изучаемых вариантов не оказывал математически доказуемого влияния на изменение показателя в условиях 2022 г., однако стоит отметить тенденцию его увеличения в вариантах с последствием применения огарка и извести (варианты 2 и 3), что может быть связано с пролонгированным действием этих мелиорантов.

На рис. 4, а представлено влияние исследуемых средств химизации на содержание в почве подвижного фосфора. Математически доказуемое увеличение данного показателя отмечено только при применении огарка совместно с минеральными удобрениями (вариант 7), что связано с включением в состав огарка при обжиге фосфоритной муки. Отдельно стоит отметить тенденцию к снижению содержания подвижного фосфора в почве при совместном применении минеральных удобрений с известью. Данной тенденции сложно

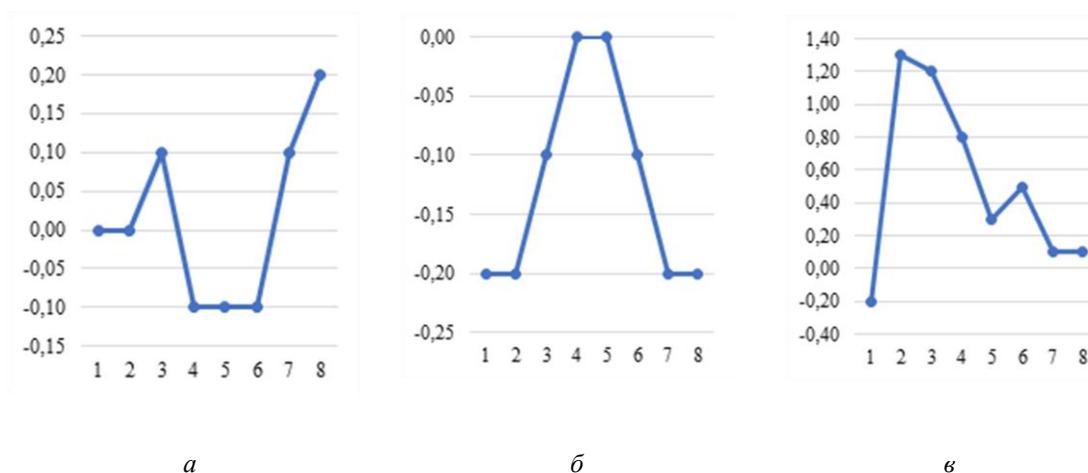


Рис. 3. Изменение кислотно-основных свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы относительно значений показателей до закладки опыта, 2022 г.: а – pH_{KCl} , б – H_g , в – S ; 1 – контроль, 2 – огарок (н/д), 3 – известь (н/д), 4 – фон, 5 – фон + огарок (н/д), 6 – фон + известь (н/д), 7 – фон + огарок, 8 – фон + известь

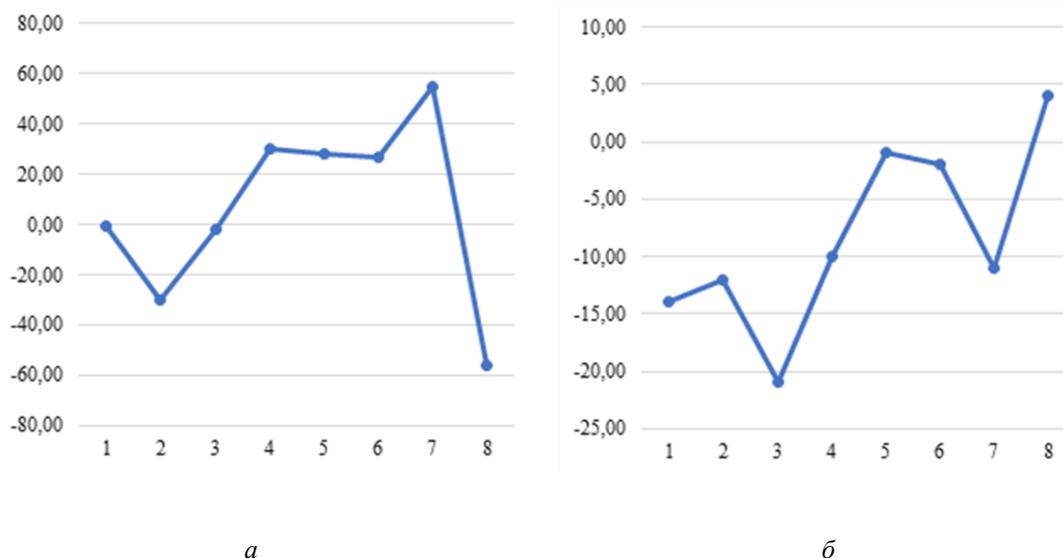


Рис. 4. Изменение содержания подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве относительно значений показателей до закладки опыта, 2022 г.: а – P2O5, б – K2O

найти рациональное объяснение на текущем этапе исследований. Ни один из изучаемых вариантов не оказал влияния на изменение подвижных соединений калия в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (см. рис. 4, б).

Заключение

Применение продукта переработки отходов К-Mg руд привело к существенно-му росту урожайности картофеля: урожайность составила 18,27 т/га, что выше контроля на 9,64 т/га, однако по сравнению с вариантом с фоновым внесением NPK прибавка была не существенна и составила 0,81 т/га при НСР05=1,2 т/га. Это демонстрирует, что основную роль в повышении урожайности сыграло применение полного минерального удобрения NPK. Последствие применения продукта высокотемпературного обжига, как с применением NPK, так и без него, увеличивало урожайность картофеля только относительно варианта без применения удобрений на 5,11 и 3,88 т/га.

При внесении комплексной мелиорирующей добавки совместно с минеральными удобрениями увеличивалось количество клубней на куст – на 6,2 шт./куст относи-

тельно контроля при НСР05 = 4,0, однако увеличение происходило в первую очередь за счёт применения NPK (прибавка относительно фона составила 3,8 шт./куст). При внесении огарка (последствие без применения NPK и действие с применением NPK) отмечена тенденция к снижению доли товарного картофеля в урожае. При совместном применении NPK и огарка отмечена тенденция к снижению негативного влияния минеральных удобрений на содержание сухого вещества в клубнях картофеля. Нейтрализация негативного влияния применения минерального удобрения на содержание крахмала происходила как при внесении огарка, так и при внесении извести.

Динамика изменений величин гидролитической кислотности и показателя рНксл позволяет сделать вывод о том, что при применении продукта высокотемпературного обжига в условиях 2022 г. проявлялся мелиорирующий эффект продукта высокотемпературного обжига шламов, однако в меньшей степени, чем при применении извести. В результате последствия применения огарка и извести без минеральных удобрений отмечена тенденция к увеличе-

нию показателя суммы поглощённых оснований. Математически доказуемое увеличение содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве отмечено только при применении огарка совместно с минеральными удобрениями,

что связано с включением в состав огарка при обжиге фосфоритной муки. Ни один из изучаемых вариантов не оказал влияния на изменение содержания подвижных соединений калия в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве.

Библиографический список

1. Жевора С.В., Чузунов В.С., Шатилова О.Н., Анисимов Б.В. Современное состояние и прогноз производства картофеля в Российской Федерации // Сб.: Картофелеводство: материалы международной научно-практической конференции «Инновационные технологии селекции и семеноводства картофеля» (29-30 июня 2017 г., ФГБНУ ВНИИКХ). – М., 2017. – С. 20.
2. Марченко А.В. Проблемы эффективного производства картофеля в Пермском крае // Московский экономический журнал. – 2019. – № 9. – С. 303–308.
3. Пермский край в цифрах. 2022: Краткий статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю. – Пермь, 2022. – 195 с.
4. Оносов Д.В., Сметанников А.Ф. Разработка технологии комплексной утилизации отходов переработки калийно-магниевых руд.м / сб.: Материалы научно-практической конференции «ГИ УрО РАН». – Пермь. – 2014. – С. 167–171.
5. Бачурин Б.А., Сметанников А.Ф., Хохрякова Е.С. Эколого-геохимическая оценка продуктов переработки глинисто-солевых шламов калийного производства // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6 (Электронный журнал). URL: www.science-education.ru/120-15442 (дата обращения: 19.11.2014).
6. Smetannikov A., Fomin D., Tsema L., Shishkov D., Korlyakov K., Osonov D., Vasbieva M., Yamaltdinova V., Novikova T. The influence of unconventional mineral fertilizers based on the processing of K-Mg ores on yield and quality of seed potato, as well as soil fertility parameters. // Agriculture and Forestry. – 2020. – № 66 (4). – P. 29–43.
7. Чумак В.А. Влияние известкования и удобрений на качество картофеля в условиях Сибири // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 2. – С. 42–43.
8. Система применения удобрений / В.В. Лапа, В.Н. Емельянова, Ф.Н. Леонов и др.; под научной редакцией В.В. Лапы. – Гродно: Гродненский государственный аграрный университет, 2011. – 416 с.
9. Мацнев И.Н., Арзыбов В.А. Влияние удобрений и известкования почвы на продуктивность картофеля // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4. – С. 26–29.
10. Мацнев И.Н., Арзыбов В.А. Влияние минеральных удобрений и известкования почвы на агрохимические свойства выщелоченного чернозема и продуктивность картофеля // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3. – С. 30–34.
11. Рысев М.Н., Федотова Е.Н., Волкова Е.С. Эффективность известкования дерново-подзолистых почв в севооборотах со льном-долгуном // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 8–16.

**THE USE OF THE PRODUCT OF K-MG ORES PROCESSING
AS A COMPLEX AMELIORANT ON SOD-PODZOLIC
HEAVY LOAM SOIL IN THE URALS**

D.G. Shishkov¹, K.N. Korlyakov¹, M.T. Vasbieva¹, L.G. Tsema¹, A.F. Smetannikov²,
V.R. Yamaltdinova¹

¹ Perm Scientific Research Institute of Agriculture

² Mining Institute UB RAS

For citation:

Shishkov D.G., Korlyakov K.N., Vasbieva M.T., Tsema L.G., Smetannikov A.F., Yamaltdinova V.R. The use of the product of K-MG ores processing as a complex ameliorant on sod-podzolic heavy loam soil in the Urals // Perm Federal Research Center Journal. – 2022. – № 4. – P. 26–34. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2022.4.3>

The paper presents the results of studying the product of high-temperature roasting of potassium-magnesium ores processing waste (cinder) as a complex ameliorant to increase the yield and quality of the Gornyak potato variety, as well as the fertility of sod-podzolic heavy loam soil. The research was carried out at Perm Agricultural Research Institute in 2020–2022. The aftereffect of the cinder use for potatoes increased its yield by 3,88 t/ha, the effect in conjunction with the use of full mineral fertilizer $N_{60}P_{60}K_{90}$ – by 9,64 t/ha. However, relative to the mineral fertilizer, the increase is less than LSD_{05} (0,81 t/ha versus LSD_{05} 1,23 t/ha). There is a tendency to reduce the negative impact of mineral fertilizers on the content of dry matter and starch in potato tubers when used together with cinder. The use of a complex ameliorant improved the acid-base properties of sod-podzolic soil, but to a lesser extent compared with lime. Due to the inclusion of phosphate rock to the cinder composition, the accumulation of mobile phosphorus in the soil was noted, an increase in the content of mobile potassium was not detected.

Keywords: mining industry waste, sludge, ameliorants, potato, sod-podzolic soil.

Сведения об авторах

Шишков Данил Глебович, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («Пермский НИИСХ УрО РАН»), 614532, Пермский край, Пермский район, с. Лобаново, ул. Культуры, 12; e-mail: danil.shishkov@gmail.com

Корляков Константин Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, зам. директора по научной работе, «Пермский НИИСХ УрО РАН»; e-mail: pniish@rambler.ru

Васбиева Марина Тагирьяновна, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, «Пермский НИИСХ УрО РАН»; e-mail: vasbieva@mail.ru

Цёма Любовь Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, «Пермский НИИСХ УрО РАН»; e-mail: lyba_cema@mail.ru

Сметанников Андрей Филиппович, доктор геолого-минералогических наук, Горный институт УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ГИ УрО РАН»), 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; e-mail: smetannikov@bk.ru

Ямалтдинова Венера Рафхатовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, «Пермский НИИСХ УрО РАН»; e-mail: pniish@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 07.11.2022 г.