

УДК 631.454; 54.11; 66.02

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-133-158

Ссылки для цитирования:

Сметанников А.Ф., Косолапова А.И., Корляков К.Н., Оносов Д.В., Фомин Д.С., Ямалтдинова В.Р., Шишков Д.Г., Оносова Е.Ф. Концепция использования комплексных удобрений пролонгированного действия на основе отходов переработки калийно-магниевых руд как новой парадигмы в улучшении плодородия почв // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 100. С. 133-158. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-133-158

Cite this article as:

Smetannikov A.F., Kosolapova A.I., Korlyakov K.N., Onosov D.V., Fomin D.S., Yamaltdinova V.R., Shishkov D.G., Onosova E.F., Concept of use of comprehensive fertilizers of long-term action on the basis of waste processing of potassium-magnesium ore as a new paradigm in improving soil fertility, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 100, pp. 133-158, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-133-158

**Концепция использования комплексных
удобрений пролонгированного действия на
основе отходов переработки калийно-магниевых
руд как новой парадигмы в улучшении
плодородия почв**

© 2019 г. А. Ф. Сметанников^{1*}, А. И. Косолапова^{2**},
К. Н. Корляков^{2***}, Д. В. Оносов^{1****}, Д. С. Фомин^{2,3*****},
В. Р. Ямалтдинова^{2*****}, Д. Г. Шишков^{2*****},
Е. Ф. Оносова^{1*****}

¹Пермский федеральный исследовательский центр. Горный институт
Уральского отделения Российской академии наук
(ПФИЦ “ГИ УрО РАН”), Россия,
614007, г. Пермь, ул. Сибирская 78 А

*<https://orcid.org/0000-0002-9444-7748>, e-mail: smetannikov@bk.ru,
***<https://orcid.org/0000-0001-7136-7158>, e-mail: onosov@inbox.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0003-0656-6964>,
e-mail: ekaterinaonosova@bk.ru.

²Пермский федеральный исследовательский центр.
Пермский НИИ сельского хозяйства Уральского отделения

*Российской академии наук. (ПФИЦ ПНИИСХ УрО РАН), Россия,
614532, г. Пермь, Пермский р-н, с. Лобаново, ул. Культуры 12,
** <https://orcid.org/0000-0002-9929-4488>, e-mail: pniish@rambler.ru,
*** <https://orcid.org/0000-0002-5715-2027>,
**** <https://orcid.org/0000-0001-8261-7191>,
***** <https://orcid.org/0000-0003-2945-0585>,
***** <https://orcid.org/0000-0002-6869-9722>.*

³*Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова,
(ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ), Россия,
614990, Пермский край, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23,

e-mail: gd@parmail.ru.*

*Поступила в редакцию 05.09.2019, после доработки 01.10.2019,
принята к публикации 18.12.2019*

Резюме: В Пермском федеральном исследовательском центре разрабатывается технология получения и применения новых комплексных удобрений пролонгированного действия из глинисто-солевых отходов переработки К-Mg руд после получения калийных удобрений. Основными процессами в технологии являются обогащение отходов и высокотемпературный обжиг концентрата обогащения. В результате формируется продукт, получивший название огарок, имеющий свойства комплексных удобрений пролонгированного действия, мелиоранта и микроудобрения. Проведены лабораторные и полевые опыты по применению огарка в качестве калийного удобрения. Изучаемые культуры – яровая пшеница, ячмень, картофель. Схема опытов включала варианты: контроль (без удобрений), NP – фон; NP + KCl и NP + огарок. Для зерновых культур (пшеница, ячмень) применение огарка на фоне NP повысило урожайность на 1.7–1.9 т/га по отношению к контролю, применение стандартных удобрений NPK – на 1.8–2.0 т/га, разница – в пределах ошибки опыта ($HC_{P05} = 0.21; 0.38$ т/га). Содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе обеих культур в вариантах с применением огарка было на уровне варианта с применением стандартного удобрения и достоверно выше по сравнению с контролем. Различия между вариантами с применением огарка были незначительными. Внесение $N_{90}P_{90}$ и полного минерального удобрения ($N_{90}P_{90}K_{90}$) способствовало повышению урожайности клубней картофеля на 1.43–4.51 т/га соответственно. Применение удобрений-огарков на фоне NP не уступало по эффективности использованию хлористого калия. Показатели качества урожая картофеля (содержание сухого вещества и крахмала в клубнях, содержание тяжелых металлов) также не

уступали применению традиционного калийного удобрения. Применение огарка под картофель и зерновые культуры в дозах эквивалентных K_{60-120} не приводило к ухудшению показателей плодородия дерново-подзолистой почвы. При получении огарка можно использовать дополнительно неограниченный набор компонентов. Иначе говоря, это концептуальная модель для создания новых видов минеральных удобрений с заданными свойствами для разных почвенно-климатических условий и культур с различными требованиями к минеральному питанию.

Ключевые слова: глинисто-солевые отходы, шламы, гранулят, огарки, высокотемпературный обжиг, комплексные удобрения пролонгированного действия, микроэлементы, минералы-мелиоранты, урожайность, пшеница яровая, ячмень, картофель, семеноводство картофеля.

Concept of use of comprehensive fertilizers of long-term action on the basis of waste processing of potassium-magnesium ore as a new paradigm in improving soil fertility

A. F. Smetannikov^{1*}, A. I. Kosolapova^{2**}, K. N. Korlyakov^{2***},
D. V. Onosov^{1****}, D. S. Fomin^{2,3*****}, V. R. Yamaltdinova^{2*****},
D. G. Shishkov^{2*****}, E. F. Onosova^{1*****}

¹Perm Federal Research Center of UB RAS, Mining Institute,
A Bld. 78 Sibirskaya Str., 614007 Perm, Russian Federation,

* <https://orcid.org/0000-0002-9444-7748>, e-mail: smetannikov@bk.ru,

**** <https://orcid.org/0000-0001-7136-7158>, e-mail: onosov@inbox.ru,

***** <https://orcid.org/0000-0003-0656-6964>,

e-mail: ekaterinaonosova@bk.ru.

²Perm Federal Research Center of UB RAS,
Perm Agricultural Research Institute,

12 Kulturi Str., 618032 Lobanovo, Perm, Russian Federation,

** <https://orcid.org/0000-0002-9929-4488>, e-mail: pniish@rambler.ru,

*** <https://orcid.org/0000-0002-5715-2027>,

**** <https://orcid.org/0000-0001-8261-7191>,

***** <https://orcid.org/0000-0003-2945-0585>,

***** <https://orcid.org/0000-0002-6869-9722>.

³Perm State Agro-Technological University
named after Academician D.N. Pryanishnikov
23 Petropavlovskaya Str., 614990 Perm Russian Federation,

e-mail: gd@parmail.ru.

Received 05.09.2019, Revised 01.10.2019, Accepted 18.12.2019

Abstract: Technology for the production and use of new multiple slow-release fertilizers from clay-salt waste (sludge) remaining as a result of potassium fertilizers production from natural K-Mg ores, is elaborated in Perm Federal Research Center. The main processes in the technology are waste enrichment and subsequent high-temperature calcination of the enriched concentrate. As a result, the product, received the name the calcine of clay-salt sludge, was formed having the properties of multiple slow-release fertilizer and ameliorant. Laboratory and field experiments on the calcine use as a potassium fertilizer were fulfilled. The studied crops were spring wheat, barley, and potato. The experimental scheme included such treatments: control (without fertilizers), NP – background; NP + KCl and NP + calcine. The use of calcine for grain crops (wheat, barley) on the NP background promoted the yield gains by 1.7–1.9 t/ha compared with the control, the use of standard NPK fertilizers – by 1.8–2.0 t/ha, the difference was within the error of the experiment ($HCP_{05} = 0.21$; 0.38 t/ha). The content of nitrogen, phosphorus and potassium in the grain and straw of both crops in the treatments using calcine was approximately equal to the variants using standard fertilizer and significantly higher compared to the control. Differences between calcine treatments were not significant. The application of $N_{90}P_{90}$ and full mineral fertilizer ($N_{90}P_{90}K_{90}$) contributed to the yield increase of potato tubers by 1.43–4.51 t/ha respectively. The use of unconventional potassium fertilizer – calcine on the background of NP was not inferior in efficiency to the use of traditional fertilizer – potassium chloride. The quality parameters of the potato crop (dry matter and starch content in tubers, the content of heavy metals) were also not inferior compared to the use of traditional potassium fertilizer. The use of calcine for potato and cereals in rates equal to K_{60-120} did not lead to deterioration of the fertility indicators of sod-podzolic soil. Upon receipt of the cinder, one can use the additional unlimited set of components. In other words, this is a conceptual model for creating new types of mineral fertilizers with desired properties for different soil and climatic conditions and crops with different requirements for mineral nutrition.

Keywords: clay-salt waste, sludge, granulate, calcine, high-temperature calcination, multiple slow-release fertilizers, trace elements, ameliorants, yield, spring wheat, barley, potato, potato seed production.

ВВЕДЕНИЕ

Картофель клубненосный (*Solanum tuberosum*) – важнейшая мировая продовольственная, кормовая и техническая культура. Россия производит более 10% общемирового объема картофеля, однако средняя урожайность этой культуры в стране остается одной из самых низких ([Жевора и др., 2017](#)). К основным причинам можно отнести низкое качество посадочного материала, значительные потери в процессе вегетации в результате поражения многочисленными вредителями и болезнями, а также вследствие засоренности посадок.

Существенный вклад в снижение потенциальной урожайности вносят последствия абиотических стрессов: засухи, неблагоприятные физические и агрохимические свойства почв, несбалансированное минеральное питание ([Коршунов, 2003б](#)).

К важнейшим особенностям данной культуры относятся повышенные требования к элементам питания, особенно к калию, а также продолжительный период питания, причем максимум азота и фосфора поступает в растения до цветения, а поступление калия продолжается до полной физиологической зрелости клубней. Калий [стимулирует синтез](#) сахаров и высокомолекулярных углеводов – крахмала, целлюлозы, пектиновых веществ, ксиланов – как в листьях, так и в [клубнях картофеля](#) ([Коршунов, 2003а](#)).

Картофель отзывчив на внесение удобрений, прежде всего калийных. Основным видом калийного удобрения, применяемого в сельском хозяйстве, является хлористый калий. Однако для картофеля нежелательно применение удобрений, содержащих хлор, так как нарушается углеводный обмен при формировании урожая. Поэтому необходимо расширение ассортимента калийных удобрений других форм.

Посадки картофеля часто размещаются на торфянистых почвах, где наблюдается нехватка микроэлементов, прежде всего, меди. Медь также входит в состав многих фунгицидов, поэтому полноценная обеспеченность растений картофеля медью может играть определенную роль в профилактике грибных болезней. Растения картофеля нуждаются и в других микроэлементах, среди которых основными являются халькофильные элементы

([Fernandes et al., 2011](#); [Soratto et al., 2011](#); [Sharipova et al., 2016](#); [Cuchiara et al., 2017](#)). Применение комплексного удобрения Микро-вит, в состав которого входят макроэлементы, а также медь, железо, цинк, бор, молибден, сокращает на 30% пестицидную нагрузку на растения, способствует увеличению урожайности на 15–30% ([Кузнецов и др., 2017](#)).

Поэтому во многих случаях целесообразно применение комплексных удобрений, в состав которых входят макро- и микроэлементы, а также минералы-мелиоранты: доломит, карбонаты и сульфаты кальция ([Сметанников и др., 2017](#)).

При основном (осеннем) внесении удобрений часто происходят потери питательных веществ в течение осенне-зимнего периода и весеннего в процессе таяния снега. Особенно большие потери наблюдаются в регионах с промывным водным режимом, а также в случае применения быстрорастворимых форм удобрений, например, хлористого калия. В связи с этим проводятся поиски способов сокращения подобных потерь. Применение удобрений с пониженной растворимостью (продолжительного действия) позволяет до определенной степени синхронизировать скорость растворения в почвенной среде и скорость поступления в растения питательных веществ. Наиболее распространенными (традиционными) видами удобрений продолжительного действия являются комплексоны металлов: хелаты (на основе комплексона этилендиаминтетра-уксусная кислота (ЭДТА)), фосфорсодержащие комплексоны (гидроксиэтилиден-дифосфоновая кислота (ОЭДФ), нитрилтри (метиленфосфоновая) кислота (НТФ)) и другие ([Груздева и др., 2015](#)).

Доказано, что ЭДТА и другие традиционные комплексоны со временем накапливаются в биосфере и вызывают растворение отложений токсичных металлов с переходом их в раствор в виде стабильных комплексонов, что приводит к отравлению планктона, рыб, птиц и высших животных, а также вызывает гипоксию в природных водах ([Мартыненко, Кузьмина, 1986](#)). По этой причине в последнее время ставка делается на применение менее токсичных комплексонов (ОЭДФ, НТФ, производных янтарной кислоты), которые легко поддаются биодеструкции в естественных условиях, в отличие от аналогичных комплексов с классическим

комплексонами, способны повышать урожайность сельскохозяйственных культур и улучшать качество продукции ([Мартыненко, Кузьмина, 1986](#)).

Другими способами замедления поступления питательных компонентов в почву являются гранулирование и капсулирование, но данные приемы замедляют растворение в незначительной степени ([Гурбанова и др., 2017](#); [Старовойтова и др., 2018](#); [Крутько, Шевчук, 2011](#); [Сабиров и др., 2005](#)).

Применяются в качестве пролонгированных удобрений продукты спекания шламов и химических реагентов ([Hu et al., 2018](#)) и продукт синтеза мерлиноита ($K_5Ca_2(Si_{23}Al_9)O_{64} \cdot 24H_2O$) из золы угля ([Li et al., 2014](#)) и другие продукты ([Ruthrof et al., 2018](#)).

Исследования продуктов переработки отходов горнодобывающей промышленности заставили обратить внимание на глинисто-солевые отходы переработки К-Mg руд Верхнекамского месторождения. Состав отходов (шламов) свидетельствует о возможности их использования в качестве комплексных удобрений ([Сметанников и др., 2013](#); [Оносов, Сметанников, 2014](#)). Утилизация шламов, накопление которых в шламохранилищах создает высокий уровень экологической опасности ([Бачурин и др., 2014](#)), имеет большое значение для решения экологических проблем региона.

Основными составляющими шламов являются нерастворимый в воде остаток (НО), остаточные хлориды и вода. В НО шламов содержатся калиевые полевые шпаты (КПШ) – источник калия, сульфаты кальция (гипс) и доломит, являющиеся минералами-мелиорантами, а также сульфиды, содержащие микроэлементы. Использованию шламов в качестве удобрений мешают остаточные хлориды и техногенные элементы ([Сметанников и др., 2018](#)). В связи с этим проблема их использования в качестве удобрений включала необходимость разработки технологии, исключающей из состава шламов техногенные компоненты и воду обогащенными методами, а также преобразование (разрушение) остаточных хлоридов калия и натрия с целью обеспечить вхождение продуктов преобразования во вторичные калиевые минералы и в минералы, обладающие мелиорирующими свойствами. Основным способом стал высокотемпературный обжиг, позволивший

получить безхлоридный продукт – огарок.

Предварительные исследования, проведенные в 2014–2016 гг. учеными Горного института УрО РАН и Пермского НИИСХ показали, что применение огарка под зерновые культуры не уступает действию традиционного калийного удобрения при условии равенства доз в действующем веществе ([Сметанников и др., 2017](#)).

Существенными преимуществами данного вида удобрений являются комплексный характер (наличие К, Са, Mg и микроэлементов), способность улучшать не только агрохимические, но и агрофизические свойства почвы, практическое отсутствие хлоридов, пролонгированность действия. В отличие от других видов удобрений пролонгированного действия, для производства которых требуется проведение дополнительных технологических операций (синтез органических соединений – комплексонов и др.), в указанном виде удобрения – огарке – присутствует готовая минеральная матрица. Минералы, входящие в его состав, могут служить основой или матрицей для макро- и микроэлементов, что позволяет добавлять в нее практически неограниченный набор компонентов (включая стимуляторы роста и бактериальные препараты). Таким образом, формируется концептуальная модель создания новых видов минеральных удобрений, позволяющая применять их в разных почвенно-климатических условиях и для культур с различными требованиями к минеральному питанию.

Для реализации данной модели в Пермском федеральном исследовательском центре, в который на правах филиалов вошли Горный институт и ПНИИСХ, с 2017 г. проводятся расширенные исследования по разработке и совершенствованию технологии получения комплексных удобрений и их применения на посадках семенного картофеля.

Цель исследования – разработать и реализовать концепцию использования отходов переработки К-Mg руд в качестве комплексных удобрений пролонгированного действия, изучить влияние их применения на урожайность и комплекс хозяйственно-ценных признаков семенного картофеля, изучить влияние на агрохимические и агрофизические свойства почвы, а также на показатели плодородия дерново-подзолистой почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исходные шламы представляют собой суспензию, состоящую из твердой и жидкой фаз. Твердая фаза – это нерастворимый в воде остаток шламов (НО), который содержит до 35% смеси гипса и ангидрита, до 16% калиевого полевого шпата (далее КПШ), до 15% доломита, до 15% кварца и до 35% смеси сильвина и галита. Кроме того, НО содержат от 0.1 до 0.3% Zn, Cu и Co в виде примеси в сульфидах ([Сметанников и др., 2018](#)). Особенностью состава жидкой фазы шламов является присутствие остаточных хлоридов и технологических реагентов, применяемых в технологических процессах, выполняющих роль вспенивателей, сгустителей, собирателей (амины, полиакриламид, карбамиды, неонол и др.). Поэтому главными задачами разрабатываемой технологии были:

1. Удаление влаги, излишков хлоридов и техногенных компонентов обогатительными методами (отмывка, сушка, грануляция и досушивание при 150–200 °С).
2. Глубокая переработка высокотемпературным обжигом, с получением продукта – огарка.

После обогащения и обжига в составе огарка образуется пироксен и сульфат калия – сингенит – за счет разрушения хлоридов, доломита, гипса. Количество кварца и КПШ сохраняется. Сульфиды отжигаются, и микроэлементы после обжига (отжига) преобразуются в оксидную форму. Огарок приобретает свойства комплексного удобрения пролонгированного действия. Пролонгированность обеспечивается присутствием в огарке труднорастворимого КПШ и сингенита как источников калия. Функции минерала мелиоранта переходят от гипса и доломита к Са, Mg-содержащему пироксену.

Эти исследования по разработке технологии получения и применения удобрений проводились в лаборатории Горного института УрО РАН и на опытном поле Пермского НИИСХ. Технология разрабатывалась в 2005–2013 гг. В ходе исследований 2013–2017 гг. технология была существенно доработана ([Оносов, Сметанников, 2014](#); [Бачурин и др., 2014](#)).

При обогащении шламов была понижена температура воды

при отмывке до 40 °С (вместо 60–70 °С) с целью максимального избавления от хлорида натрия. Но главным образом изменения коснулись параметров высокотемпературного обжига с целью максимального преобразования минерального состава шламов.

Для выявления оптимальных параметров концентрат обогащения гранулят обжигался тремя партиями при температуре 600 °С (УЛТП-1), 800 °С (УЛТП-2) и 900 °С (УЛТП-3). Минеральный состав продуктов обжига показан в таблице 1. Данные таблицы 1 демонстрируют, что преобразование шлама в огарок характеризуется разрушением хлоридов, доломита, ангидрита и их участием в формировании новых калиевых и кальциевых, магниевых минералов. Причем интенсивность разрушения тесно связана с повышением температуры обжига. Наибольшая интенсивность преобразования и количество новообразованных минералов отмечается при температуре 900 °С (рис. 1).

Таблица 1. Минеральный состав огарков
Table 1. Mineral composition of calcine

Т, °С	Минеральный состав огарков по данным РКФА (масс. %)								
	кварц	КПШ	доломит	галит	сильвин	ангидрит	гематит	пироксен	* сингенит
600	10	18	8	5	4	44	2	13	
800	9	15	5	3	4	40	2	19	2
900	8	13	2	1	2	18	2	43	8

* Сингенит – $K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$.

Таким образом, оптимальный режим обжига приводит к перераспределению (вхождению) калия, хлора, кальция и магния в новообразованные минералы.

Баланс калия в огарке распределяется по трем минералам, содержащим калий, – КПШ, сингенит и остаточный сильвин (KCl), – обладающим разной растворимостью. Существует возможность рассчитать оптимальную дозу с прогнозным действием одного внесения на 4–8 лет. Кроме того, уникальным качеством огарка является его стерильность ([Сметанников, 2017](#)).



Рис. 1. Огарок – гранулят, обожженный при температуре 900 °С.
Fig. 1. Calcine – granulate, annealed by 900 °С temperature.

Полевые опыты проводились на дерново-сильно-подзолистой тяжелосуглинистой почве (pH_{KCl} – 5.2–5.4; гумус – 2.21–2.30 %, сумма поглощенных оснований – 19.6–22.0 мг-экв/100 г почвы; подвижный фосфор – 121–124, обменный калий – 110–120 мг/кг почвы). Схемы опытов с зерновыми культурами и картофелем представлены в таблицах 2, 3.

Агротехника в опыте – общепринятая для возделывания яровой пшеницы, ячменя и картофеля в Пермском крае. В предварительных лабораторных исследованиях использование огарка в качестве собственно субстрата для выращивания растений приводило к их угнетению, и не может быть рекомендовано к применению в сельскохозяйственной практике. Поэтому в серии полевых опытов подход к использованию отходов калийной промышленности был принципиально изменен. Огарок использовался как ми-

неральное удобрение в дозах, сопоставимых с дозами традиционных удобрений с учетом процентного содержания в них питательных веществ, в данном случае – с хлористым калием. При этом соотношение массы удобрения и массы пахотного горизонта почвы радикально отличаются от соотношения, полученного в лабораторных исследованиях. Дозы удобрений составляют от 100 до 800 кг на 1 га, масса пахотного горизонта с 1 га – до 2 400 т.

Способ и сроки применения огарка были аналогичными общепринятой технологии применения минеральных удобрений: поверхностное внесение с последующей заделкой в почву в ходе осенней зяблевой вспашки. В опытах с зерновыми культурами и картофелем для установления эффективности огарка разной степени обжига наряду с контролем были включены следующие варианты: фон – $N_{60}P_{60}$, $N_{60}P_{60}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Учет урожая сплошной, поделяночный. Статистическая обработка полученных данных выполнена по методике, изложенной [Б.А. Доспеховым \(1985\)](#).

Качественный состав зерна, соломы зерновых культур и клубней картофеля определяли по общепринятым методикам в изложении [В.В. Кидина \(2008\)](#).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты разработки способа преобразования шламов.

Главным результатом стало получение продукта – огарка, который позиционируется как комплексное удобрение пролонгированного действия.

Основная позиция заключается во включении питательных компонентов (К, Са, Mg) в минералы, обладающие низкой растворимостью, и в их замедленном поступлении в почву. Другое свойство – наличие мелиорирующих компонентов и компонентов, позиционируемых как микроудобрения. Кроме того, технология получения огарка не исключает возможности смешивания на стадии обогащения с отходами обогащения фосфоритов (эфелями) и получения К-Р огарков.

Вторая позиция – это сохранение мелиорирующих свойств огарка после обжига и разрушения доломита и гипса, поскольку продукты разрушения локализируются в пироксене, также облада-

ющем мелиорирующими свойствами. Третья позиция – это перевод микроэлементов, включенных в сульфиды после обжига, в оксидную форму ([Сметанников и др., 2017](#); [Сметанников и др., 2018](#)). Все эти три позиции характеризуют “огарок” как комплексное удобрение пролонгированного действия. Кроме указанных выше свойств, применение огарка может рассматриваться как новый способ сохранения плодородия почв в комплексе с восстановлением и улучшением ее физико-химических, агрономических свойств и улучшением устойчивости работы агроэкосистемы.

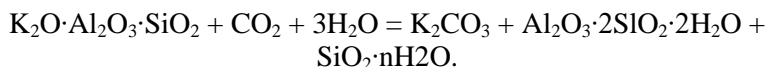
Таким образом, сформирована концептуальная модель создания новых видов минеральных удобрений, позволяющая применять их в разных почвенно-климатических условиях и для культур с различными требованиями к минеральному питанию.

В то же время возникает ряд вопросов, основным из которых является вопрос о времени разрушения КППШ и “форме” поступления калия в почву.

Известно, что образование осадков, их постепенное погружение с накоплением новых осадков способствует появлению градиента давления и температуры. Сочетание этих факторов способствует преобразованию (метаморфизации) погружающихся осадков и преобразованию первичных минералов осадков в другие (метаморфогенные) минералы. Подобное явление происходит и при обжиге шламов, однако доминирующим является температурный фактор.

В почве агентами химического выветривания являются: вода, кислород, углекислота и различные органические соединения преимущественно кислотного типа. При воздействии этих агентов в почвах идут реакции растворения, окисления, гидратации и гидролиза минералов. В ряду устойчивости минералов огарка к химическому выветриванию можно выстроить следующий ряд: 1) гипс и органические вещества; 2) доломит; 3) хлорит, серицит; 4) пироксен; 5) ортоклаз (КППШ). К устойчивым минералам относятся кварц, циркон, оксиды титана и др. Добавочным фактором, способствующим разрушению КППШ, является размерность его зерен, как в исходном шламе, так и в огарке, которая составляет менее 40 микрон.

Как видно из этой последовательности, КППШ может подвергаться химическому выветриванию в почвах с несравненно более сильным эффектом, чем в коре выветривания горных пород. Разложение КППШ по Перельману, Полюнову ([Полюнов, 1934](#); [Сапожников и др., 1972](#)) представляется следующей реакцией:



Последовательность вещественных превращений – ортоклаз-поташ-каолинит. Поташ, скорее всего, и является основным калиевым питательным компонентом.

Результаты испытания действия огарков на урожайность и качество полевых сельскохозяйственных культур.

Метеорологические условия в годы проведения опыта были различными. Вегетационный период 2015 г. характеризовался благоприятными условиями для формирования урожая зерновых культур, а 2016 г. – как засушливый с высокой теплообеспеченностью и недостаточным количеством осадков, 2017 г. отличался низкой теплообеспеченностью и большим количеством осадков.

Урожайность яровой пшеницы без удобрений в среднем за два года составила 1.68 т/га, ячменя – 2.04 т/га (табл. 2). Внесение азотно-фосфорных удобрений способствовало повышению урожайности яровой пшеницы по сравнению с контролем на 89 %, ячменя – на 76 %. Применение $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ также обеспечивало существенные прибавки: на 117 % по сравнению с контролем и на 15–17 % по сравнению с фоном.

Применение огарка способствовало формированию урожайности зерновых культур на уровне КС1 (различия – в пределах ошибки опыта). Прибавка урожая яровой пшеницы по сравнению с контролем составила 1.42–1.78 т/га, с фоном – 0.23–0.28 т/га, ячменя – 1.30–2.02 и 0.34–0.47 т/га соответственно.

Анализ качества полученной продукции показал, что содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе обеих культур в вариантах с применением огарка было на уровне варианта с применением стандартного удобрения и достоверно выше по сравнению с контролем. Различия между вариантами с

применением огарка были несущественными.

Таким образом, применение нового типа удобрений под зерновые культуры в рекомендуемой дозе является эффективным приемом, так как повышается урожайность зерновых культур, качество продукции не ухудшается, а также решается экологическая проблема утилизации отходов калийной промышленности.

Кроме зерновых культур применение огарка в качестве удобрений изучали на картофеле в сравнении с азотно-фосфорными и азотно-фосфорно-калийными удобрениями. Недостаток тепла и избыток влаги в течение вегетационного периода отрицательно сказался на формировании урожайности картофеля, который на контроле составил 2.92 т/га (табл. 3).

Внесение азотно-фосфорных удобрений (фоновый вариант) и полного минерального удобрения (NPK) в рекомендуемой дозе способствовало повышению урожайности клубней картофеля на 1.43–4.51 т/га по сравнению с контролем. Наибольшего значения урожайность достигла при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$ (KCl) – 7.43 т/га. Сбалансированное минеральное питание картофеля повышало не только урожайность, но и способствовало улучшению качества клубней. Отмечена тенденция повышения содержания сухого вещества, крахмала и витамина С по сравнению с контролем.

Внесение азота, фосфора и огарков в рекомендуемой и повышенной дозах обеспечивало получение урожайности 6.41–6.88 т/га – на уровне хлористого калия. При этом показатели качества урожая: содержание сухого вещества, крахмала, нитратов, витамина С, – не уступали варианту с применением хлористого калия, различия между вариантами были в основном в пределах ошибки опыта. Содержание азота варьировало в ботве в пределах 0.29–0.32 %, а в клубнях – 0.31–0.33 %, P_2O_5 – 0.10–0.12 % и 0.12–0.16 %, K_2O – 0.85–1.03 % и 0.68–0.96 % соответственно.

Таблица 2. Влияние огарка на урожайность яровой пшеницы и ярового ячменя (среднее за 2015–2016 гг.)
Table 2. Spring wheat and barley yields as influenced by calcine application

Варианты	Яровая пшеница					Ячмень, т/га				
	урожай- ность, т/га	прибавка				урожай- ность, т/га	прибавка			
		к контролю		к фону			к контролю		к фону	
		т/га	%	т/га	%		т/га	%	т/га	%
Без удобрений – контроль	1.68	-	-	-	-	2.04	-	-	-	-
N ₆₀ P ₆₀ – фон	3.18	1.50	89	-	-	3.59	1.55	76	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K _{KCl} 30	3.30	1.62	96	0.12	4	3.83	1.79	88	0.24	7
N ₆₀ P ₆₀ K _{KCl} 60	3.65	1.97	117	0.47	15	4.21	2.17	106	0.62	17
N ₆₀ P ₆₀ +УЛТП–1 30	3.18	1.50	89	-	-	3.34	1.30	64	-	-
N ₆₀ P ₆₀ +УЛТП–3 30	3.10	1.42	84	-	-	3.38	1.34	66	-	-
N ₆₀ P ₆₀ +УЛТП–1 60	3.46	1.78	106	0.28	9	4.06	2.02	99	0.47	13
N ₆₀ P ₆₀ +УЛТП–3 60	3.41	1.73	103	0.23	7	3.93	1.89	93	0.34	9
НСР ₀₅		0.21					0.38			

Таблица 3. Урожайность и качественные показатели клубней картофеля (2017 г.)
Table 3. Potato yield and tubers quality parameters (2017)

Варианты	Урожай- ность, т/га	Прибавка				Содержание			
		к контролю		к фону		сухое в-во, %	крахмал, %	нитраты, мг/кг	витамин С, мг
		т/га	%	т/га	%				
Контроль	2.92	-	-	-	-	18.9	13.6	13.2	11.91
N ₉₀ P ₉₀ фон1	4.35	1.43	49	-	-	18.6	13.9	14.0	12.79
N ₉₀ P ₉₀ K _{КCl} 90	7.43	4.51	154	3.08	71	19.1	13.8	18.1	14.81
Фон + 0-1 ₆₀	4.36	1.44	49	0.01	-	18.8	13.6	13.1	13.10
Фон + 0-1 ₉₀	6.41	3.49	119	2.06	47	18.7	11.6	16.9	13.45
Фон + 0-1 ₁₂₀	7.07	4.15	142	2.72	62	19.2	15.0	17.6	13.25
Фон + 0-2 ₆₀	4.89	1.97	67	0.54	12	19.1	13.5	15.0	13.60
Фон + 0-2 ₉₀	6.88	3.96	136	2.53	58	18.5	11.4	17.5	13.10
Фон + 0-2 ₁₂₀	6.99	4.07	139	2.64	61	18.7	11.6	17.8	13.29
Фон + 0-3 ₆₀	5.15	2.23	76	0.80	18	19.1	11.5	16.0	13.90
Фон + 0-3 ₉₀	7.37	4.45	152	3.02	69	19.1	14.4	17.2	14.40
Фон + 0-3 ₁₂₀	7.50	4.58	157	3.15	72	19.2	14.1	17.4	14.70
НСР ₀₅		0.88				F _ф < F _т	F _ф < F _т	3.2	1.1

В клубнях картофеля и почве провели определение содержания тяжелых металлов. Данные, приведенные в таблице 4, показывают, что содержание тяжелых металлов в клубнях картофеля не превышало ПДК и УДК и было на уровне фонового и контрольного вариантов, а также вариантов с внесением полного минерального удобрения в рекомендуемой дозе.

Таблица 4. Влияние огарков на содержание тяжелых металлов в клубнях картофеля, мг/кг

Table 4. Heavy metals composition in potato tubes as influenced by calcine application

Варианты	Кадмий	Свинец	Бор	Кобальт
Без удобрений – контроль	0.012	0.22	11.27	0.28
N ₉₀ P ₉₀ – фон	0.022	0.42	13.73	0.40
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0.020	0.37	10.37	0.13
Фон + 0–1 120	0.012	0.22	12.91	0.21
Фон + 0–2 120	0.017	0.31	13.28	0.19
Фон + 0–3 120	0.0097	0.26	10.37	0.18
Фон + 0–3 90	0.010	0.16	11.49	0.32

Аналогичные результаты получены и по содержанию тяжелых металлов и микроэлементов в почве. Их содержание было практически одинаковым в вариантах с внесением огарка и хлористого калия (табл. 5).

Таким образом, применение огарка не ухудшило агрохимические показатели почвы по сравнению с внесением стандартного удобрения – хлористого калия.

В дальнейших исследованиях необходимо провести полный биохимический анализ (содержание сырого протеина, жира, клетчатки и др.) и определение содержания расширенного набора микроэлементов в испытываемых культурах.

Таблица 5. Влияние применения огарков на содержание тяжелых металлов и микроэлементов в почве, мг/кг

Table 5. Calcine application impact on heavy metals and trace elements content in soil, mg/kg

Варианты	Тяжелые металлы				Массовая доля подачи серы	Микроэлементы	
	Медь	Цинк	Свинец	Кадмий		Кобальт	Марганец
Контроль	24.33	48.05	10.64	0.198	3.66	1.20	39.15
N ₉₀ P ₉₀ – фон	25.39	47.61	9.92	0.201	4.26	0.83	44.65
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	26.43	48.79	9.75	0.208	2.69	1.67	38.30
Фон + 0–1 120	26.52	48.13	10.19	0.210	1.93	1.13	39.33
Фон + 0–2 120	23.38	47.13	9.53	0.228	2.38	1.27	34.21
Фон + 0–3 120	21.99	47.71	10.44	0.237	3.38	1.47	26.92
Фон + 0–3 90	22.65	48.54	10.44	0.284	2.28	1.20	27.54

ВЫВОДЫ

1. Разработана и усовершенствована технология переработки шламов в комплексные удобрения пролонгированного действия, ключевым элементом которой является высокотемпературный ($t = 900$ °С) обжиг шламов. Полученный продукт называется огарок. Огарок содержит питательные компоненты (К, Са, Mg), мелиорирующие компоненты (пироксен, доломит и гипс), микроэлементы (Cu, Zn, Со и др.).

2. Проведенная серия полевых опытов подтвердила возможность использования огарка в качестве удобрения в дозах, сопоставимых с дозами традиционных удобрений. Внесение огарков способствовало формированию урожайности зерновых культур и картофеля на уровне стандартного удобрения. Кроме того, показа-

тели качества урожая картофеля (содержание сухого вещества и крахмала в клубнях, содержание тяжелых металлов) не уступали таковым в вариантах с применением традиционного калийного удобрения.

3. Необходимо продолжить исследования по совершенствованию состава (включение макро- и микроэлементов), а также разработке технологии получения и применения на различных культурах новых комплексных РК удобрений пролонгированного действия.

4. Минералы, входящие в состав огарка, могут служить основой или матрицей для макро- и микроэлементов, что позволяет добавлять в нее практически неограниченный набор компонентов, включая стимуляторы роста и бактериальные препараты. Таким образом, формируется концептуальная модель создания новых видов минеральных удобрений с заданными свойствами, способствующими сохранению и повышению плодородия почвы, повышению устойчивости агроэкосистемы, а также позволяющая применять их в разных почвенно-климатических условиях и для культур с различными требованиями к минеральному питанию.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 17-45-590998 “Разработка концептуального подхода к преобразованию (утилизации) глинисто-солевых отходов (шламов) после переработки К-Mg руд и использованию продуктов утилизации в качестве комплексных удобрений пролонгированного действия, содержащих питательные компоненты (K, Mg, Ca) на бесхлоридной основе, минералы-мелиоранты и микроэлементы”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачурин Б.А., Сметанников А.Ф., Хохрякова Е.С. Эколого-геохимическая оценка продуктов переработки глинисто-солевых шламов калийного производства // Электронный журнал “Современные проблемы науки и образования”. 2014. № 6. URL: www.science-education.ru/120-15442.
2. Груздева Е.В., Архипова В.В., Бучинская А.В., Кульчинская А.С. Технология применения комплексонов в жидких удобрениях и их роль в

воде и почве. URL: http://www.waterh.net/wp-content/uploads/2015/10/Article_09.pdf.

3. *Гурбанова З.Р., Гумбатов М.О., Гурбанов Э.А.* Получение гранулированного фосфорного удобрения, обогащенного микроэлементами // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 6 (88). С. 17–19.
4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. *Жевора С.В., Чугунов В.С., Шатилова О.Н., Анисимов Б.В.* Современное состояние и прогноз производства картофеля в Российской Федерации // Картофелеводство: материалы международной научно-практической конференции “Инновационные технологии селекции и семеноводства картофеля” (29–30 июня 2017 г., ФГБНУ ВНИИКС). М.: ФГБНУ ВНИИКС, 2017. С. 3–28.
6. *Коршунов А.В.* Картофель России // Физиолого-биохимические особенности картофеля. М.: Достижения науки и техники АПК, 2003. Т. 2. С 3–87.
7. *Коршунов А.В.* Картофель России // Технологии возделывания. М.: Достижения науки и техники АПК, 2003. Т. 2. С 201–208.
8. *Кидин В.В., Дерюгин И.П., Кобзаренко В.И.* Практикум по агрохимии. М.: Колос, 2008. 599 с.
9. *Крутько Н.П., Шевчук В.В.* Совершенствование технологии производства гранулированных калийных удобрений и повышение их качества // Рудник будущего. 2011. № 4 (8). С. 12–14.
10. *Кузнецов Д.А., Прокина Л.Н., Ибрагимова Г.Н., Калинина А.Д.* Влияние хелатной формы микроудобрения (микровит) на фоне применения высоких доз минеральных удобрений на урожайность картофеля ранней группы спелости // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 1 (56). С. 40–46.
11. *Мартыненко Л.И., Кузьмина Н.П.* О влиянии комплексонов на биосферу // Химия комплексонов и их применение. Калинин: Калинин. гос. ун-т, 1986. С. 15–17.
12. *Оносов Д.В., Сметанников А.Ф.* Разработка технологии комплексной утилизации отходов переработки калийно-магниевых руд. // Материалы научно-практической конференции “ГИ УрО РАН”. Пермь: “ГИ УрО РАН”, 2014. С. 167–171.
13. *Польнов Б.Б.* Кора выветривания. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. 243 с.
14. *Сабиров Р.Р., Игнатьева Г.П., Себалло В.А.* Исследование прочностных свойств гранулированных калийных удобрений // Обогащение руд. 2005. № 3. С. 11–13.

15. Сапожников Д.С., Перельман А.И., Петров В.П. Геология и минералогия коры выветривания. // Кора выветривания. М.: Наука, 1970. Вып. 11. 280 с.
16. Сметанников А.Ф., Оносов Д.В., Синегрибов В.А., Косолапова А.И., Новиков П.Ю. Способ переработки отходов калийного производства. Пермь: “ГИ УрО РАН”. Патент РФ № 2497961. Заявка 2012142039. Зарегистрирован 10.11.2013 г.
17. Сметанников А.Ф., Косолапова А.И., Митрофанова Е.М., Бачурин Б.А., Оносов Д.В., Фомин Д.С., Ямалтдинова В.Р., Шишков Д.Г., Оносова Е.Ф. Результаты испытаний отходов переработки калийно-магниевого руд в качестве удобрений пролонгированного действия // Вестник ПНЦ. 2017. № 4. С. 58–63.
18. Сметанников А.Ф., Косолапова А.И., Бачурин Б.А., Оносов Д.В., Фомин Д.С., Ямалтдинова В.Р., Шишков Д.Г., Оносова Е.Ф. Разработка методологического подхода в применении комплексных удобрений пролонгированного действия для зерновых культур, многолетних трав и картофеля // Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2018. № 21. С. 415–423.
19. Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. Влияние органического гранулированного удобрения и росторегуляторов на качество клубней картофеля // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 2 (23). С. 15–20.
20. Cuchiara C.C., Larré C.F., Peters J.A. The objective of this study was to evaluate the combined effects of copper (Cu) and zinc (Zn) on sweet potato plants based on morphological parameters, mineral profiles, and antioxidant metabolism // Iheringia – Serie Botanica. 2017. Vol. 72 (1). P. 142–149. DOI: [10.21826/2446-8231201772113](https://doi.org/10.21826/2446-8231201772113).
21. Fernandes A.M., Soratto R.P., Silva B.L. Nutrient extraction and exportation by potato cultivars: I – Macronutrients // Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 2011. Vol. 35 (6). P. 2039–2056. DOI: [10.1590/S0100-06832011000600020](https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600020).
22. Hu P., Zhang Y., Wang X., Zhou Y., Tong W., Luan X., Ma X., Zhou F., Chu P.K., Zhao P. $K_2MgSi_3O_8$ in slow-release mineral fertilizer prepared by sintering of by-product of red mud-based flocculant // Environmental Engineering Science. 2018. Vol. 35 (8). P. 829–835. DOI: [10.1089/ees.2017.0340](https://doi.org/10.1089/ees.2017.0340).
23. Li J., Zhuang X., Font O., Moreno N., Vallejo V.R., Querol X., Tobias A. Synthesis of merlinoite from Chinese coal fly ashes and its potential utilization as slow release K-fertilizer // Journal of Hazardous Materials. 2014. Vol. 265. P. 242–252. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2013.11.063](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.063).

24. *Ruthrof K.X., Steel E., Misra S., McComb J., O'Hara G., Hardy G.E.S.J., Howieson J.* Transitioning from phosphate mining to agriculture: Responses to urea and slow release fertilizers for Sorghum bicolor // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 625. P. 1–7. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.12.104](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.104).
25. *Sharipova D.S., Aitbayev T.E., Tazhibayev T.S., Nacheva E.K.* The impact of new and improved elements of agricultural technologies on potato productivity in the south-east of Kazakhstan // *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2016. Vol. 13 (2). P. 1031–1036. DOI: [10.13005/bbra/2129](https://doi.org/10.13005/bbra/2129).
26. *Soratto R.P., Fernandes A.M., de Souza-Schlick G.D.* Nutrient extraction and exportation by potato cultivars: II – Micronutrients // *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2011. Vol. 35 (6). P. 2057–2071. DOI: [10.1590/S0100-06832011000600021](https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600021).

REFERENCES

1. Bachurin B.A., Smetannikov A.F., Khokhryakova E.S., *Ekologo-geokhimicheskaya otsenka produktov pererabotki glinisto-solevykh shlamov kaliinogo proizvodstva* (Ecological and geochemical evaluation of products of processing clay-salt sludge of potash production), *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, No. 6, URL: www.science-education.ru/120-15442.
2. Gruzdeva E.V., Arkhipova V.V., Buchinskaya A.V., Kul'chinskaya A.C., *Tekhnologiya primeneniya kompleksonov v zhidkikh udobreniyakh i ikh rol' v vode i pochve* (The technology of the use of complexones in liquid fertilizers and their role in water and soil), URL: http://www.waterh.net/wp-content/uploads/2015/10/Article_09.pdf.
3. Gurbanova Z.R., Gumbatov M.O., Gurbanov E.A., *Poluchenie granulirovannogo fosfornogo udobreniya, obogashchennogo mikroelementami* (Obtaining granular phosphorus fertilizer enriched with trace elements), *Problemy sovremennoi nauki i obrazovaniya*, 2017, No. 6 (88), pp. 17–19.
4. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (The methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
5. Zhevora S.V., Chugunov V.S., Shatilova O.N., Anisimov B.V., *Sovremennoe sostoyanie i prognoz proizvodstva kartofelya v Rossiiskoi Federatsii* (Current state and forecast of potato production in Russian Federation), *Kartofelevodstvo: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Innovatsionnye tekhnologii seleksii i semenovodstva kartofelya"* (Potato growing: of the international scientific-

practical conference “Innovative technologies of selection and seed production of potatoes”, 29–30, June, 2017, FGBNU VNIKKh), Moscow, 2017, 20 p.

6. Korshunov A.V., *Kartofel' Rossii. Fiziologo-biokhimicheskie osobennosti kartofelya* (Potato of Russia. Physiological and biochemical characteristics of potatoes), In: *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, Moscow, 2003, Vol. 2, pp. 3–87.

7. Korshunov A.V. *Kartofel' Rossii. Tekhnologii vozdel'yvaniya* (Potato of Russia. Technologies of cultivation), In: *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, Moscow, 2003, Vol. 2, pp. 201–208.

8. Kidin V.V., Deryugin I.P., Kobzarenko V.I., *Praktikum po agrokhimii* (Workshop on agrochemistry), Moscow: Kolos, 2008, 599 p.

9. Krut'ko N.P., Shevchuk V.V., *Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva granulirovannykh kaliinykh udobrenii i povyshenie ikh kachestva* (Improving the production technology of granular potash fertilizers and improving their quality), *Rudnik budushchego*, 2011, No. 4 (8), pp. 12–14.

10. Kuznetsov D.A., Prokina L.N., Ibragimova G.N., Kalinina A.D., *Vliyanie khelatnoi formy mikroudobreniya (mikrovit) na fone primeneniya vysokikh doz mineral'nykh udobrenii na urozhainost' kartofelya rannei gruppy spelosti* (The influence of the chelated form of microfertilizer (microvit) on the background of the use of high doses of mineral fertilizers on the yield of potatoes of the early ripening group), *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2017, No. 1 (56), pp. 40–46.

11. Martynenko L.I., Kuz'mina N.P., *O vliyanii kompleksonov na biosferu* (On the effect of complexones on the biosphere), *Khimiya kompleksonov i ikh primeneniye*, Kalinin: Kalin. gos. un-t, 1986, pp. 15–17.

12. Onosov D.V., Smetannikov A.F., *Razrabotka tekhnologii kompleksnoi utilizatsii otkhodov pererabotki kaliino-magnievykh rud.* (Development of a technology for the integrated utilization of potash and magnesium ore processing wastes), *Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii “GI UrO RAN”*, Perm': “GI UrO RAN”, 2014, pp. 167–171.

13. Polynov B.B., *Kora vyvetrivaniya* (Weathering Bark), Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1934, 243 p.

14. Sabirov R.R., Ignat'eva G.P., Seballo V.A., *Issledovanie prochnostnykh svoystv granulirovannykh kaliinykh udobrenii* (The study of the strength properties of granular potash fertilizers), *Obogashchenie rud*, 2005, No. 3, pp. 11–13.

15. Sapozhnikov D.S., Perel'man A.I., Petrov V.P., *Geologiya i mineralogiya kory vyvetrivaniya* (Geology and mineralogy of the weathering crust), *Kora vyvetrivaniya*, Moscow: Nauka, 1970, Vol. 11, 280 p.

16. Smetannikov A.F., Onosov D.V., Sinigribov V.A., Kosolapova A.I., Novikov P.Yu., *Sposob pererabotki otkhodov kaliinogo proizvodstva, Patent*

- RF №2497961 (A method of processing potash waste, patent No. 2497961), Perm', "GI UrO RAN", Application 2012142039, registered 10.11.2013.
17. Smetannikov A.F., Kosolapova A.I., Mitrofanova E.M., Bachurin B.A., Onosov D.V., Fomin D.S., Yamaltdinova V.R., Shishkov D.G., Onosova E.F., Rezultaty ispytaniy otkhodov pererabotki kaliino-magnievyykh rud v kachestve udobrenii prolongirovannogo deistviya (Test results of waste potash-magnesium ore processing as fertilizers of prolonged action), *Vestnik PNTs*, 2017, No. 4, pp. 58–63.
18. Smetannikov A.F., Kosolapova A.I., Bachurin B.A., Onosov D.V., Fomin D.S., Yamaltdinova V.R., Shishkov D.G., Onosova E.F., Razrabotka metodologicheskogo podkhoda v primeneniі kompleksnykh udobrenii prolongirovannogo deistviya dlya zernovykh kul'tur, mnogoletnikh trav i kartofelya (Development of a methodological approach to the application of complex fertilizers of prolonged action for crops, perennial herbs and potatoes), *Nauchnye chteniya pamyati P.N. Chirvinskogo*, 2018, No. 21, pp. 415–423.
19. Starovoitova O.A., Starovoitov V.I., Manokhina A.A., Vliyanie organicheskogo granulirovannogo udobreniya i rostoregulyatorov na kachestvo klubnei kartofelya (The effect of organic granular fertilizer and growth regulators on the quality of potato tubers), *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya*, 2018, No. 2 (23), pp. 15–20.
20. Cuchiara C.C., Larré C.F., Peters J.A., The objective of this study was to evaluate the combined effects of copper (Cu) and zinc (Zn) on sweet potato plants based on morphological parameters, mineral profiles, and antioxidant metabolism, *Iheringia – Serie Botanica*, 2017, Vol. 72 (1), pp. 142–149, DOI: [10.21826/2446-8231201772113](https://doi.org/10.21826/2446-8231201772113).
21. Fernandes A.M., Soratto R.P., Silva B.L., Nutrient extraction and exportation by potato cultivars: I – Macronutrients, *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 2011, Vol. 35 (6), pp. 2039–2056, DOI: [10.1590/S0100-06832011000600020](https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600020).
22. Hu P., Zhang Y., Wang X., Zhou Y., Tong W., Luan X., Ma X., Zhou F., Chu P.K., Zhao P., $K_2MgSi_3O_8$ in slow-release mineral fertilizer prepared by sintering of by-product of red mud-based flocculant, *Environmental Engineering Science*, 2018, Vol. 35 (8), pp. 829–835, DOI: [10.1089/ees.2017.0340](https://doi.org/10.1089/ees.2017.0340).
23. Li J., Zhuang X., Font O., Moreno N., Vallejo V.R., Querol X., Tobias A., Synthesis of merlinoite from Chinese coal fly ashes and its potential utilization as slow release K-fertilizer, *Journal of Hazardous Materials*, 2014, Vol. 265, pp. 242–252, DOI: [10.1016/j.jhazmat.2013.11.063](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.063).
24. Ruthrof K.X., Steel E., Misra S., McComb J., O'Hara G., Hardy G.E.S.J., Howieson J., Transitioning from phosphate mining to agriculture: Responses

to urea and slow release fertilizers for Sorghum bicolor, *Science of the Total Environment*, 2018, Vol. 625, pp. 1–7, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.12.104](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.104).

25. Sharipova D.S., Aitbayev T.E., Tazhibayev T.S., Nacheva E.K., The impact of new and improved elements of agricultural technologies on potato productivity in the south-east of Kazakhstan, *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 2016, Vol. 13 (2), pp. 1031–1036, DOI: [10.13005/bbra/2129](https://doi.org/10.13005/bbra/2129).

26. Soratto R.P., Fernandes A.M., de Souza-Schlick G.D., Nutrient extraction and exportation by potato cultivars: II – Micronutrients, *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 2011, Vol. 35 (6), pp. 2057–2071, DOI: [10.1590/S0100-06832011000600021](https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600021).