

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)

ТЭХНІЧНАЯ ХІМІЯ І ХІМІЧНАЯ ТЭХНАЛОГІЯ
TECHNICAL CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING

УДК 661.631.85
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2026-62-2-155-165>

Поступила в редакцию 10.07.2024
Received 10.07.2024

**А. Ж. Алламуратова¹, А. У. Эркаев², А. М. Реймов¹,
С. А. Казахбаев¹, О. Б. Дормешкин³**

¹Каракалпакский государственный университет, Нукус, Каракалпакстан

²Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан

³Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНЫХ
ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ
ГУМИНСОДЕРЖАЩЕГО СУПЕРФОСФАТА С ДОБАВКАМИ АЗОТНЫХ
И КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

Аннотация. Показана возможность получения сложных органоминеральных NPK-удобрений на основе желваковых фосфоритов Каракалпакстана и мытого обожженного концентрата (МОК-26) из фосфоритов Кызылкумов путем их обработки продуктом окисленного и аммонизированного бурого угля Ангренского месторождения с последующим добавлением в смесь порошков сульфата калия, аммофоса, карбамида и аммиачной селитры. Фосфатный минерал ходжакульского сырья состоит из курскита и франколита в равных количествах, а порлытауского – только из курскита. МОК-26 относится к зернистым типам, главным минералом которых является франколит. Установлено, что среди разработанных сложных удобрений самым концентрированным по сумме питательных элементов является продукт, полученный в присутствии карбамида. В продуктах из желваковой фосфоритовой муки Каракалпакстана относительно высокое содержание усвояемой формы фосфора говорит о высокой их реакционной способности. При внесении предлагаемых новых видов сложных удобрений на основе местного сырья структура почв заметно улучшается, при этом экономия дорогостоящих минеральных удобрений составляет 30–35 %, воды для орошения – 10–12 %, а урожайность хлопчатника при этом повышается на 2–4 %.

Ключевые слова: фосфориты Централных Кызылкумов и Каракалпакстана, серная кислота, бурый уголь, аммиачная вода, минеральные соли, активация, сложные NPK-удобрения, физико-химические методы анализа

Для цитирования. Исследование процесса получения сложных органоминеральных удобрений на основе гуминсодержащего суперфосфата с добавками азотных и калийных солей / А. Ж. Алламуратова А. У. Эркаев, А. М. Реймов [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2026. – Т. 62, № 2. – С. 155–165. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2026-62-2-155-165>

A. Zh. Allamuratova¹, A. U. Erkaev², A. M. Reymov¹, S. A. Kazakbaev¹, O. B. Dormeshkin³

¹Karakalpak State University, Nukus, Karakalpakstan

²Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan

³Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

**STUDY OF THE PROCESS OF PRODUCING COMPLEX ORGANOMINERAL
FERTILIZERS BASED ON HUMIN-CONTAINING SUPERPHOSPHATE WITH ADDITIONS
OF NITROGEN AND POTASSIUM SALTS**

Abstract. The possibility of obtaining complex organomineral NPK-fertilizers based on nodular phosphorites of Karakalpakstan and washed burned concentrate (WBC-26) from Kyzylkum phosphorites by treating them with a product of oxidized and ammoniated brown coal from the Angren deposit with subsequent addition of potassium sulfate, ammophos, urea and ammonium nitrate powders to the mixture, has been shown. The phosphate mineral of the Khodzhaikul raw material consists of kurskite and francolite in equal quantities, and the Porlytau raw material consists of kurskite only. WBC-26 is of granular type, the main mineral of which is francolite. It has been established that among the developed complex fertilizers, the most concentrated in terms of the amount of nutrients is the product obtained in the presence of urea. In products made from nodule phosphate flour of Karakalpakstan, the relatively high relative content of the digestible form of phosphorus indicates their high reactivity. When introducing the proposed new types of complex fertilizers based on local raw materials,

the soil structure noticeably improves, while expensive mineral fertilizers are saved by 30–35 %, and irrigation water – by 10–12 %. Additionally, cotton yield increases by 2–4 %.

Keywords: phosphorites of Central Kyzylkum and Karakalpakstan, sulfuric acid, brown coal, ammonia water, mineral salts, activation, complex NPK-fertilizers, physicochemical methods of analysis

For citation. Allamuratova A. Zh., Erkaev A. U., Reymov A. M., Kazakbaev S. A., Dormeshkin O. B. Study of the process of producing complex organomineral fertilizers based on humin-containing superphosphate with additions of nitrogen and potassium salts. *Vestsi Natsyyanal' nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnyh navuk = Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Chemical series*, 2026, vol. 62, no. 2, pp. 155–165 (in Russian). (<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2026-62-2-155-165>)

Введение. По данным Государственного комитета по статистике Республики Узбекистан, численность населения республики – 37 003 347 человек [1]. Ежедневно число постоянных жителей Узбекистана увеличивается в среднем на 1,8 тыс. человек. Рост численности населения ведет к увеличению спроса на продукты питания в условиях повышения благосостояния населения, сокращения посевных площадей и дефицита водных ресурсов, что обуславливает необходимость интенсификации сельского хозяйства, разработки и внедрения новых технологий [2].

Главным фактором получения высокого и качественного урожая сельскохозяйственных культур является их полноценное питание, в первую очередь азотом, фосфором и калием, а также гуминовыми веществами. Фосфор участвует в строении клеточной ткани растений. При его дефиците в почве у растений нарушаются обменные процессы, ими плохо усваиваются калий и азот. Ежегодно в зависимости от типа почв и выращиваемых на них культур из почв отчуждается от 30 до 60 % фосфора, что ведет к оскудению и падению их плодородия [3]. Естественным путем восстановить запасы фосфора в почве невозможно. Для его пополнения требуется внесение удобрений в виде природных и искусственных соединений фосфора (удобрения). В мире около 85 % природных фосфатов используется для производства фосфорных удобрений. Запасы фосфатных руд выявлены более чем в 60 странах и оцениваются в 63 067 млн т, в том числе 57 807 млн т фосфоритных (91 мас.%) и 5 260 млн т апатитовых (9 мас.%) руд [4].

В Узбекистане основным фосфатным сырьем являются зернистые фосфориты Кызылкумского месторождения, утвержденные запасы которых составляют 384 413 тыс. т фосфоритных руд или 73 916 тыс. т P_2O_5 . Усредненная проба фосфорита содержит (мас.%): 16,2 P_2O_5 ; CaO : P_2O_5 = 2,9; 17,7 CO_2 ; 0,6 MgO; 2,9 ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$); 1,5 ($K_2O + Na_2O$); 2,7 SO_3 ; 1,9 F; 7,8 нерастворимого остатка; 0,1 Cl. Руда имеет следующий средний минеральный состав, %: франколит – 56,0; кальцит – 26,5; кварц – 7,5–8,0; гидрослюдистые минералы и полевые шпаты – 4,0–4,5; гипс – 1,0; цеолит – менее 1; органическое вещество – около 0,5 [5].

Это сырье не пригодно для производства концентрированных фосфорных удобрений, поэтому для обогащения карбонатного фосфатного сырья применяется метод обжига [6]. С 2014 г. Кызылкумский фосфоритовый комплекс выпускает 716 тыс. т МОК-26 с содержанием 26 % (или 186,16 тыс. т) P_2O_5 . Однако по схеме обогащения, разработанной компанией Engineering Dobersek GmbH (Германия), из добываемых 1 876 тыс. т фосфатной руды, содержащей 17,12 % P_2O_5 (321 тыс. т P_2O_5), в качестве отходов образуется большое количество хвостов обогащения – 1 158 тыс. т со средним содержанием 11,6 % (134 770 т) P_2O_5 (минерализованная масса (12–14 % P_2O_5), шламовый фосфорит (10–12 % P_2O_5) и пылевидная фракция (18–20 % P_2O_5)). Из них 9,6 % появляется при сухой сортировке на площадке рудоконтрольной станции, 28,3 % – при гидросортировке и 4,1 % – на стадиях сушки и обжига. В общем случае с фосфоритными отходами теряется 42 % P_2O_5 от исходного в руде. В настоящее время уже накоплено около 10 млн т минерализованной массы и более 3 млн т шламового фосфорита, при этом отсутствует эффективная и ресурсосберегающая технология переработки отходов обогащения [7].

Кальциевый модуль в МОК-26 достаточно высок (CaO : P_2O_5 = 2,0–2,1). В Хибинском апатитовом концентрате он равен 1,3, в фосфоритной муке Каратау – 1,6. Это означает, что при получении экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) из МОК-26 расход серной кислоты на 23 % превышает ее расход при переработке фосфоритной муки Каратау и 40 % – при переработке апатитового концентрата. Дело в том, что при обжиге фосфорита разлагается карбонат кальция, углекислота улетает, а свободный оксид кальция остается в концентрате и именно он вызывает большой расход кислоты. Из-за резкого повышения температуры, вызванного экзотермичностью процесса разложения, свободный кальций вызывает коррозию металлов.

В связи с этим необходимо совершенствовать процессы обогащения и переработки кызыл-кумских фосфоритов, пересмотреть более эффективные способы их обогащения, а также изыскать другие фосфатные сырьевые источники с целью расширения фосфатной фазы для производства фосфорных удобрений и кормовых фосфатов.

В качестве альтернативы к термическому обогащению предложены химические способы обогащения карбонатных фосфоритов Кызылкумов с применением неорганических и органических кислот [8, 9]. При этом полученные концентраты по качеству полностью соответствуют требованиям производства ЭФК. Однако результаты данных работ пока не вышли за рамки лабораторных исследований.

В плане расширения фосфатной базы для производства фосфорных удобрений могут служить желваковые фосфориты Каракалпакстана, которые пока в промышленном масштабе не разрабатываются. На территории Каракалпакстана выявлен ряд районов, где имеются фосфориты: Худжакуль, Султан-Уиздаг, Ходжейли, Назархан, Чукай-Тукай, Порлытау и др. [10]. Их преимущество заключается в следующем: они находятся в непосредственной близости от потребителя; не требуют больших капиталовложений; могут быть введены в разработку в короткие сроки; продукция (сыромолотые фосфориты) значительно дешевле, чем любая другая фосфатная продукция.

По минералогическому составу руда Каракалпакии близка к фосфатам Егорьевского, Вятско-Камского и Чилисайского месторождений [11]. Однако вовлечение этих фосфоритных руд в кислотную переработку связано со значительными трудностями, которые обусловлены наличием в фосфатном сырье сопутствующих примесей, в первую очередь кремнезема (до 50 % SiO_2) и глауконита (до 10 % $(\text{K}, \text{H}_2\text{O})(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2 [\text{Si}_3\text{AlO}_{10}] \cdot \text{H}_2\text{O}$).

В условиях острого дефицита фосфорных удобрений все вышеперечисленные фосфориты после их соответствующей обработки могут рассматриваться как местные удобрения, не претендующие на полное удовлетворение потребности страны в фосфорных удобрениях, но способные поднять урожайность сельскохозяйственных культур в своих регионах [12].

Обычно в преобладающей массе руд фосфор находится в таких минеральных формах, которые плохо усваиваются растениями. Одним из немногочисленных исключений как раз и являются желваковые фосфориты. В них относительное содержание лимонно-растворимой формы P_2O_5 составляет до 40 %, что намного больше, чем в зернистых, ракушечных и апатитовых рудах [13].

Определена линейная зависимость агрохимических характеристик известных видов фосфатного сырья различных месторождений от величины параметра элементарной ячейки a_0 [14]. По полученным значениям a_0 фосфориты располагаются в порядке ее возрастания: к 1-й группе относятся желваковые, ко 2-й – зернистые, к 3-й – ракушечные фосфориты, а к 4-й – апатиты. Минимальные значения параметра ячейки находятся у желваковых фосфоритов, а максимальные – у апатитов. Делается вывод о том, что чем ниже величина кристаллов, тем больше их взаимодействие с почвенными растворами, следовательно, тем выше агрохимическая эффективность, что позволяет предсказывать перспективность использования того или иного фосфатного сырья в качестве минерального удобрения в виде измельченной муки, не прибегая к многолетним испытаниям.

Использование тонко размолотого фосфорита как непосредственного удобрения, без какой либо химической обработки, обеспечивало бы сельское хозяйство наиболее дешевым фосфорным удобрением [15]. Наиболее высокий эффект фосфоритная мука проявляет при реализации приема «фосфоритование почв», который заключается в разовом внесении в почву на длительный срок (до 5 лет и более) не менее 1 т/га P_2O_5 [16].

Фосфоритная мука успешно применяется в больших количествах на кислых почвах, а на нейтральных, карбонатных почвах Узбекистана она неэффективна. Для того чтобы расширить диапазон применения фосфоритной муки и на нейтральные почвы, нужно повысить в ней усвояемую форму фосфора.

Для этого подойдет так называемая механохимическая активация, когда перевод неусвояемой для растений формы P_2O_5 в усвояемую производится механически в присутствии каких-либо химических реагентов [17–23]. Это хотя и обеспечивает повышение цитратной растворимости фосфатного минерала, но в полученных удобрениях отсутствует водорастворимая форма фосфора, которая очень необходима растениям с коротким вегетационным периодом. Для получения

водорастворимых фосфорных удобрений из бедного сырья подходит серноокислотная его активация с получением простого суперфосфата [11].

Как известно, в странах ЕС декларируется, что в комплексных удобрениях минимальное содержание азота должно быть не менее 3 %, а P_2O_5 и K_2O – не менее 5 % при общем содержании питательных компонентов не менее 20 %. А. Ф. Георгиевским и В. М. Бугиным [3] рассматривается опыт разработки и освоения выпуска комплексного NPK-удобрения (6 : 11 : 11) со следующей характеристикой: $P_2O_{5\text{общ.}}$ – 10,8 %, $P_2O_{5\text{усв.}}$ – 10,7 %, $P_2O_{5\text{в.р.}}$ – 7,4 %, $P_2O_{5\text{своб.}}$ – отс., N – 5,84 %, K_2O – 11,17 %, CaO – 17,3 %, SO_3 – 32,9 %. Гранулы имеют статическую прочность 31,2 кгс/см². Удобрение содержит увеличенное количество питательных компонентов, не слеживается. При изготовлении 1 т NPK-удобрения в натуре потребность в топливе снижается более чем на 20 % по сравнению с выпуском 1 т суперфосфата аммонизированного.

Подобное исследование выполнено М. М. Винник, Л. Н. Ербановой, П. М. Зайцевым [24], где для получения фосфорного удобрения, обогащенного дополнительными питательными элементами, процесс разложения апатитового концентрата серной кислотой осуществляли с добавкой: 1-й вариант – гидрофосфат аммония; 2-й вариант – гидрофосфаты аммония и калия.

Цель работы – получение сложных органоминеральных удобрений азота и калия на основе переработки продукта окисления бурого угля серной кислотой, МОК, фосфоритов Ходжакуля и Порлытау и минеральных солей (аммиачная селитра, карбамид, аммофос и сульфат калия).

Методика и методы исследования. Для проведения лабораторных исследований использовались следующие сырьевые компоненты: МОК-26, два вида желваковой фосфоритовой муки, состав которых приведен в табл. 1, бурый уголь Ангренского месторождения (мас.%): влага – 14,1; зола – 13,7; органика – 72,2; гуминовые кислоты – 4,1 % на органическую массу, а также минеральные соли: аммиачная селитра (34 % N), карбамид (46 % N), аммофос (46 % P_2O_5 , 11 % N) и сульфат калия (50 % K_2O).

Таблица 1. Содержание компонентов в исходных фосфоритах

Table 1. Content of components in the original phosphorites

Компонент, мас.%	Наименование сырья		
	МОК-26	Фосфориты Ходжакуля	Фосфориты Порлытау
Cr	0,01	0,06	0,04
MnO	0,07	0,11	0,09
Cu	0,0046	0,0037	0,05
Zn	0,01	0,0058	0,0056
Sr	0,15	0,14	0,16
I	0,0003	0,0017	0,0014
Ba	0,03	0,02	0,02
Ge	0,0069	0,01	0,01
Sm	–	0,02	0,03
Rb	0,0013	0,0029	0,0023
Na ₂ O	0,02	0,56	0,69
MgO	0,17	0,30	0,34
Al ₂ O ₃	1,52	2,07	2,09
Fe ₂ O ₃	0,37	2,92	4,15
SiO ₂	7,51	18,23	16,28
P ₂ O ₅	26,00	19,11	18,34
CaO	50,58	43,49	44,11
SO ₃	1,57	1,49	0,96
K ₂ O	0,55	1,77	1,85
Cl	0,04	0,02	0,08
U	0,0074	0,0083	0,0059
Ti	–	0,13	0,15

Следует отметить, что фосфатный минерал ходжакульского сырья состоит из курскита и франколита в равных количествах, а порлытауского – только из курскита. МОК-26 относится к зернистым типам, главным минералом которых является франколит.

Сначала осуществлялось окисление бурого угля 65%-й серной кислотой с целью повышения в нем содержания гуминовых веществ. Для этого бурый уголь тщательно измельчали в ступке до 0,2–0,25 мм. Навеску угля взвешивали и помещали в колбу объемом 500 мл, скрепляли в штативе, задавали необходимую температуру (50 °С) в контактном термометре. Затем медленно приливали серную кислоту, после чего продукт окисления нейтрализовали аммиачной водой, обрабатывали (активировали) фосфатные материалы (МОК, фосфоритовая мука) в течение 10 мин. Далее к ним добавляли минеральные соли в различных соотношениях $N : P_2O_5 : K_2O$, перемешивали до однородной массы. Необходимое количество компонентов, взятых для приготовления сложных композиций, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Расход исходных сырьевых материалов для получения сложных органоминеральных NPK-удобрений (кг)

Table 2. Consumption of initial raw materials for the production of complex organomineral NPK-fertilizers (kg)

Исходные материалы	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
МОК-26	100	100	100	–	–
Желваковый фосфорит	–	–	–	100	100
Серная кислота (65%-я)	95,01	95,10	95,11	87,35	87,63
Сульфат калия	18,03	20,05	20,05	18,00	22,26
Уголь	5,00	10,04	10,12	5,04	5,09
Аммофос	50,03	50,11	50,21	69,99	69,95
Карбамид	–	17,10	–	–	–
Аммиачная селитра	–	–	22,06	51,66	68,95
Аммиачная вода	15,00	18,20	15,17	14,00	17,05

Приготовленные таким образом смеси увлажняли водой до 7–16,6 % и гранулировали при 75–80 °С. Гранулирование удобрений осуществлялось с применением лабораторного тарельчатого гранулятора. Полученные гранулы высушивали в сушильном шкафу при 80–85 °С до остаточной влажности 0,8–1,2 %, охлаждали, измельчали, после чего определяли их химический состав по известным методикам [25]. Усвояемую форму фосфора определяли по 2%-му раствору лимонной кислоты. В продуктах органическую массу (ОМ) определяли по разности между 100 и суммой процентных содержаний золы и влаги (ГОСТ 9517-76).

Рентгенографический анализ продуктов проводили на дифрактометре XRD-6100 (Shimadzu, Япония). Применяли $CuK\alpha$ -излучение (β -фильтр, Ni, режим тока и напряжения трубки – 30 мА и 30 кВ) и постоянную скорость вращения детектора 4 град/мин, угол сканирования изменялся от 4 до 80°. При снятии применялась камера со скоростью вращения 30 об/мин. Качественная и количественная идентификация фаз представленных образцов производилась с помощью программы MATCH.

Морфология и микроструктура поверхности и сечение отдельных гранул полученных удобрений осуществляли с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM-EVO MA 10 (Carl Zeiss, Германия). Так как материал не токопроводящий, на поверхность образца был нанесен тонкий слой углерода толщиной 5–10 нм с использованием напыления от углеродной нити на установке Quorum-Q150R ES.

ESI масс-спектрометрические исследования осуществляли на масс-спектрометре 6420 Triple Quad LC/MS (Agilent Technologies, USA). Регистрацию масс-спектров проводили с отрицательной и положительной ионизацией. Параметры масс-спектрометра были выбраны следующие: диапазон сканирования – 50–2 200 м/г, расход газа осушителя – 3 л/мин, температура газа – 300 °С, давление газа на игле распылителя – 20 бар, температура испарителя – 300 °С, напряжение на капилляре – 4 000 В. С помощью микроскопа и энергетического дисперсионного ана-

лизатора (ЭДР-анализ) (Inca, Oxford Instruments, UK) одновременно определялся элементный состав проб.

Результаты и их обсуждение. Химический и солевой составы полученных продуктов приведены в табл. 3–6, их рентгенограммы, микроструктура и элементный состав – на рис. 1 и 2.

Таблица 3. Состав сложных органоминеральных NPK-удобрений в зависимости от вида массового соотношения N : P₂O₅ : K₂O

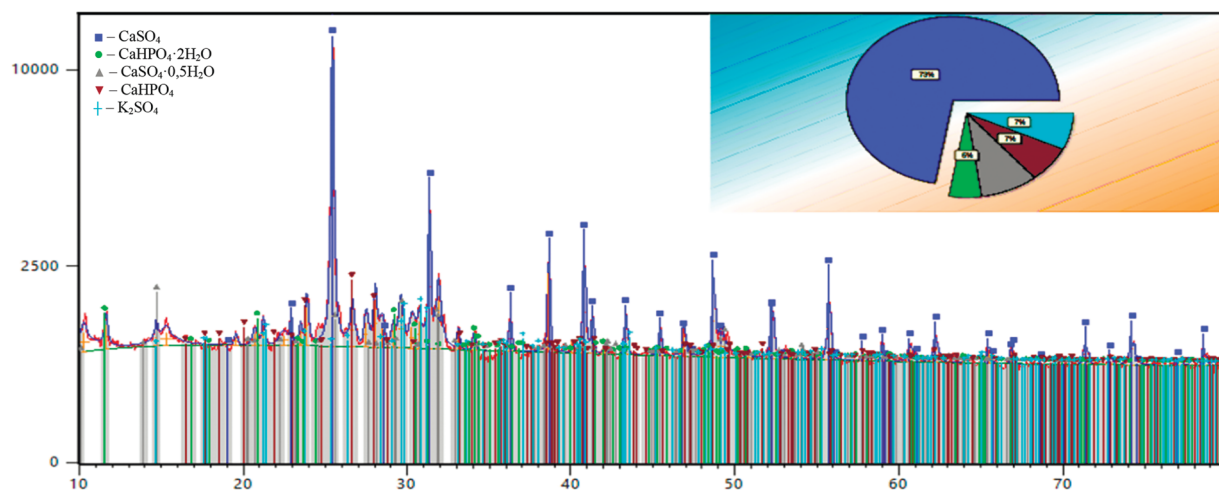
Table 3. Composition of complex organomineral NPK-fertilizers depending on the type of mass ratio N : P₂O₅ : K₂O

Компоненты, мас.%	Соотношение N : P ₂ O ₅ : K ₂ O				
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
	1 : 11,32 : 1,62	1 : 5,74 : 0,75	1 : 5,91 : 0,79	1 : 8,65 : 1,89	1 : 7,50 : 1,22
N	2,56	5,54	5,19	3,19	3,20
P ₂ O ₅ общ.	20,54	18,60	18,31	17,04	15,62
P ₂ O ₅ усв.	18,15	10,84	13,80	13,79	14,02
P ₂ O ₅ водн.	15,53	7,28	7,22	6,74	9,17
K ₂ O	4,14	4,17	4,09	6,02	3,92
OM	1,74	3,52	3,09	1,35	1,26
CaO	26,60	23,18	23,20	18,20	17,09
MgO	0,78	1,00	1,10	2,20	2,11
P ₂ O ₅ усв. : P ₂ O ₅ общ.	88,36	58,28	75,37	80,93	89,76
P ₂ O ₅ водн. : P ₂ O ₅ общ.	75,61	39,14	39,43	39,55	58,71
Сумма питательных компонентов (N+P ₂ O ₅ усв.+K ₂ O+OM)	26,59	24,07	26,17	24,35	22,4

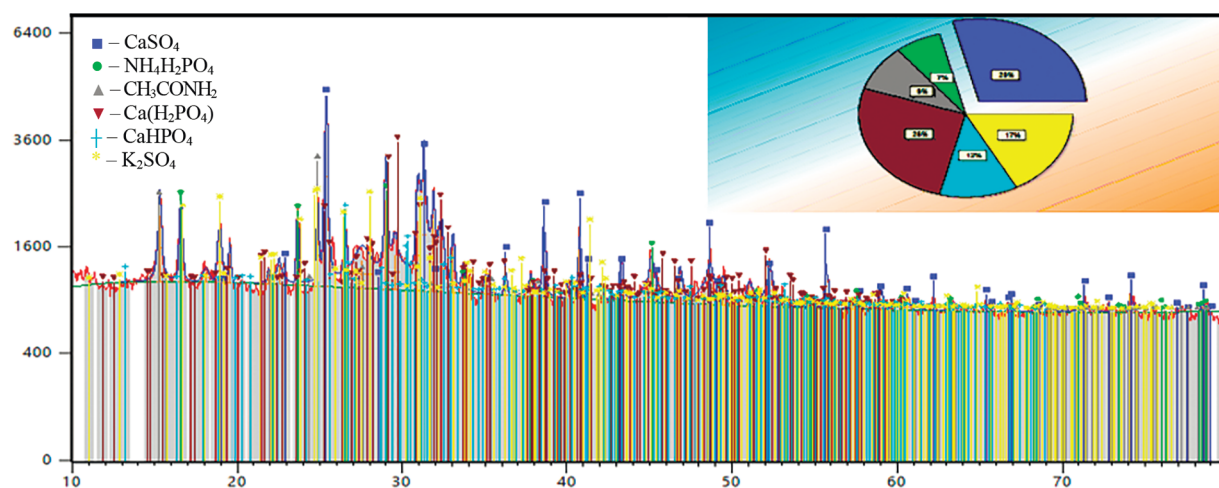
Таблица 4. Содержание компонентов в сложных органоминеральных NPK-удобрениях

Table 4. Content of components in complex organomineral NPK-fertilizers

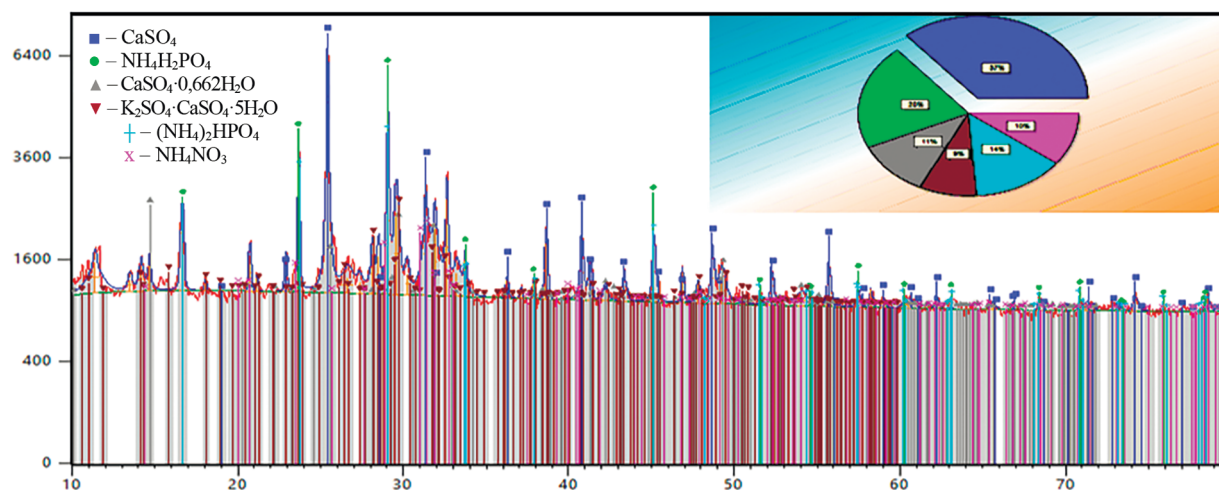
Компоненты, мас.%	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
Cr	0,0045	0,0069	0,0074	0,0010	0,0015
MnO	0,0300	0,0600	0,0500	0,0400	0,0500
Cu	0,0021	0,0100	0,0039	0,0020	0,0015
Zn	0,0067	0,1200	0,0065	0,0038	0,0028
Sr	0,0500	0,0500	0,0500	0,0600	0,0100
I	0,0002	≤ 0,0001	≤ 0,0001	0,0001	0,0010
Ba	0,0087	0,0100	0,0077	0,0100	0,0025
Ge	0,0019	0,0025	≤ 0,0007	0,0015	0,0006
Rb	0,0004	0,0005	0,0005	0,0017	0,0017
Na ₂ O	0,1200	0,1000	0,0900	0,0800	0,1100
MgO	0,4000	0,5800	0,9700	0,7500	0,8700
Al ₂ O ₃	8,5400	10,3800	9,0200	6,7900	2,0800
Fe ₂ O ₃	2,0600	2,6000	3,0200	1,7200	3,4100
SiO ₂	9,6800	11,9800	13,0400	13,4500	6,8600
P ₂ O ₅	20,0400	18,0000	17,9100	17,8000	16,2200
CaO	22,9800	25,8700	25,4100	17,7500	16,8100
K ₂ O	2,8900	3,2600	3,9900	5,1100	3,7500
Cl	0,0600	0,6500	0,3400	1,9800	2,2000
Ti	0,0200	0,0200	0,0300	0,0600	0,1200
U	0,0023	0,0028	0,0026	0,0010	0,0002



Образец 1



Образец 2



Образец 3

Рис. 1. Рентгенограммы образцов сложных органоминеральных NPK-удобрений (нумерация образцов соответствует нумерации образцов табл. 3)

Fig. 1. X-ray diffraction patterns of samples of complex organomineral NPK fertilizers (sample numbering corresponds to sample numbering in Table 3)

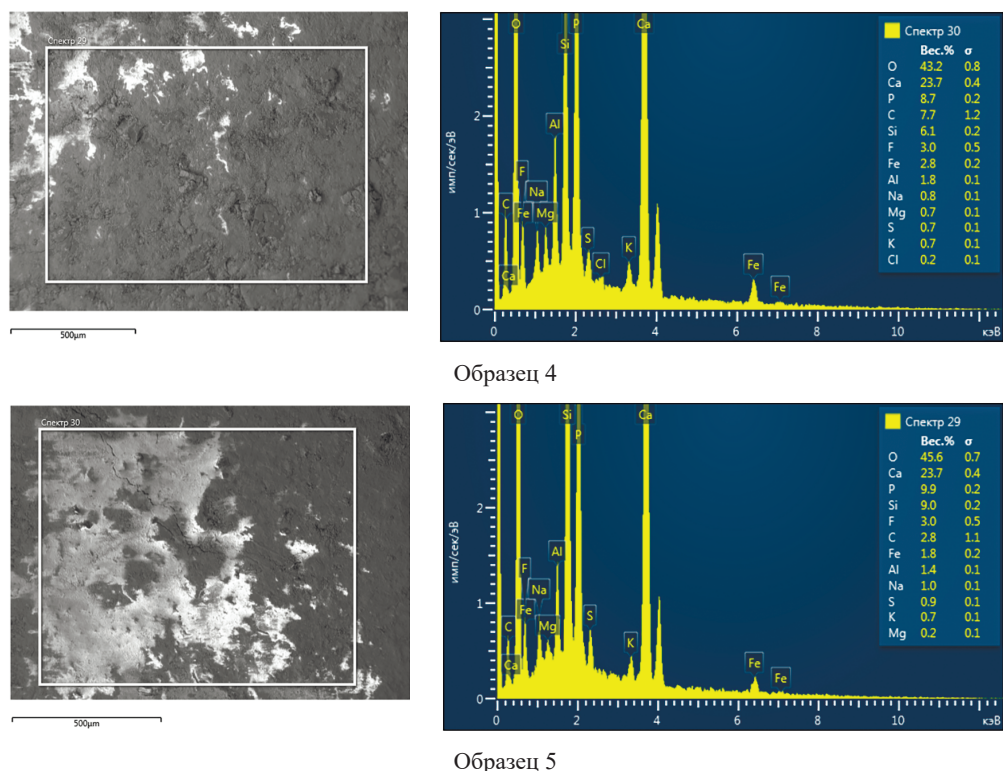


Рис. 2. Микрофотография и энергодисперсионный спектральный анализ образцов сложных органоминеральных NPK-удобрений (нумерация образцов соответствует нумерации образцов табл. 3)

Fig. 2. Microphotograph and energy-dispersive spectral analysis of samples of complex organomineral NPK-fertilizers (sample numbering corresponds to sample numbering in Table 3)

Из табл. 3 видно, что при различных соотношениях $N : P_2O_5 : K_2O$ в получаемых сложных удобрениях из МОК-26 содержание $P_2O_{5\text{общ.}}$ составляет 18,31–20,54 мас.%; $P_2O_{5\text{усв.}} : P_2O_{5\text{общ.}} = 58,28\text{--}88,36$ мас.%; $P_2O_{5\text{водн.}} : P_2O_{5\text{общ.}} = 39,14\text{--}75,61$ мас.%; $N - 2,56\text{--}5,54$ мас.%; $K_2O - 4,09\text{--}4,17$ мас.%; $OM - 1,74\text{--}3,52$ мас.% и с суммой питательных компонентов – 24,07–26,59 мас.%. В таких удобрениях из фосфоритов Каракалпакстана эти показатели составляют 15,62–17,04; 80,93–89,76; 39,55–58,71; 3,19–3,20; 3,92–6,02; 1,26–1,35 и 22,4–24,35 мас.% соответственно. Относительно высокое содержание усвояемой формы фосфора говорит о высокой реакционной способности желваковой фосфоритовой муки Каракалпакстана.

Необходимо отметить, что при смешении желваковой фосмуки с физиологически кислыми солями, особенно сульфатом калия, происходит активация фосфатного минерала сырья, приводящая к повышению усвояемой формы P_2O_5 . Это означает, что при приготовлении сложных удобрений протекает обменная химическая реакция. Показано, что питательные вещества улучшают физико-химические и механические показатели готовых продуктов, придавая им товарные качества.

Изучен минералогический состав сложных удобрений с использованием рентгенофазового, спектрального и энергодисперсионного методов анализа. На рис. 1 приведена рентгенограмма сложных органоминеральных NPK-удобрений. Нумерация образцов соответствует нумерации табл. 3.

Из рис. 1 и табл. 5 видно, что в продуктах содержится сульфат калия, сульфат кальция, дигидрофосфат аммония, гидрофосфат кальция, гидросульфат кальция, моногидрофосфат кальция и нитрата аммония. В смесях образуются новые соединения, не имеющиеся в исходных компонентах, в частности сульфат кальция, брушит, хлорид кальция.

На рис. 2. и табл. 6 приведены результаты энергодисперсионного спектра сложных удобрений, полученных из фосфоритов Каракалпакстана и удобрительных солей. Видно, что содержание элементарного фосфора – 8,66 и 9,88 мас.%, а содержание железа – 3,02 и 2,98 мас.% соответственно для двух проб из второй партии.

Таблица 5. Солевой состав сложных органоминеральных NPK-удобрений (на основе результатов рентгенографического исследования)

Table 5. Salt composition of complex organomineral NPK fertilizers (based on the results of X-ray studies)

Соединения, мас.%	Образец 1	Образец 2	Образец 3
CaSO_4	73	29	37
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	6	26	—
$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	7	—	11
$\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_7$	7	—	—
K_2SO_4	7	17	—
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	—	7	34
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	—	9	—
$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	—	—	8
CaHPO_4	—	12	—
NH_4NO_3	—	—	10

Таблица 6. Элементный состав сложных органоминеральных NPK-удобрений (на основе энергодисперсионного спектра)

Table 6. Elemental composition of complex organomineral NPK fertilizers (based on energy-dispersive spectrum)

Элементы, мас.%	Образец 4	Образец 5
C	7,75	2,79
O	43,16	45,65
F	3,02	2,98
Na	0,85	0,98
Mg	0,68	0,23
Al	1,80	1,42
Si	6,12	8,99
P	8,66	9,88
S	0,67	0,90
Cl	0,17	—
K	0,66	0,65
Ca	23,69	23,73
Fe	2,78	1,80

При внесении предлагаемых новых видов фосфорсодержащих удобрений на основе местного сырья структура почвы заметно улучшается, при этом экономия дорогостоящих минеральных удобрений составляет 30–35 %, воды для орошения – 10–12 %, а урожайность хлопчатника повышается на 2–4 %.

Заключение. В условиях дефицита фосфорсодержащих удобрений низкосортные желваковые фосфориты Каракалпакии могут стать альтернативой МОК. Фосфатный минерал ходжакульского сырья состоит из курскита и франколита в равных количествах, порлытауского – только из курскита. МОК относится к зернистым типам, главным минералом которых является франколит.

Изучен процесс получения сложных органоминеральных удобрений на основе переработки продукта окисления бурого угля серной кислотой, МОК, фосфоритов Ходжакульского и Порлытауского месторождений и минеральных солей (аммиачная селитра, карбамид, аммофос и сульфат калия). Минеральные питательные вещества улучшают физико-химические и механические показатели готовых продуктов, придавая им товарные качества.

Таким образом, выполненный комплекс исследований является предпосылкой для вовлечения низкосортного фосфатного сырья в производство сложных органоминеральных NPK-удобрений широкого ассортимента, тем самым существенно расширяя фосфатную сырьевую базу. Для производства сложных удобрений эффективной добавкой считаются аммофос, сульфат кальция, карбамид и нитрат аммония.

Список использованных источников

1. Население Узбекистана // Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Население_Узбекистана#cite_note-1 (дата обращения: 15.05.2024).
2. Фалина, Н. В. Мировой рынок минеральных удобрений / Н. В. Фалина, Д. О. Дюкарев // *Economics*. – 2016. – № 1 (10). – URL: <https://scienceproblems.ru/images/PDF/2016/1/mirovoj-rynok-mineralnyh-udobrenij.pdf> (дата обращения: 15.05.2024).
3. Георгиевский, А. Ф. Современное состояние и перспективы развития фосфатно-сырьевой базы России / А. Ф. Георгиевский, В. М. Бугина // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 197–207. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-3-197-207>
4. Ангелов, Л. И. Перспективы обеспеченности промышленностью минеральных удобрений фосфатным сырьем / Л. И. Ангелов, Д. П. Алейнов, Б. В. Левин // *Химическая промышленность сегодня*. – 2006. – № 7. – С. 11–17.
5. Беглов, Б. М. Фосфориты Центральных Кызылкумов и их переработка / Б. М. Беглов, Ш. С. Намазов. – Ташкент : ФАН, 2013. – 460 с.
6. Цезарь Норберт, В. Промышленное удаление хлоридов из фосфатной руды при мокром обогащении в экстремальных условиях пустыни Кызылкум / В. Цезарь Норберт // *Горный вестник Узбекистана*. – 2008. – № 4. – С. 54–58.
7. Фосфориты Центральных Кызылкумов и их обогащение / З. К. Дехканов, Ш. С. Намазов, А. Р. Сейтназаров, Б. М. Беглов // *Узбекский химический журнал*. – 2016. – № 3. – С. 70–80.
8. Sultonov, B. E. Investigation of nitric acid beneficiation of low grade phosphorites from Central Kyzylkum / B. E. Sultonov, Sh. S. Namazov, B. S. Zakirov // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 2015. – Vol. 50, № 1. – P. 26–34.
9. Seitnazarov, A. Beneficiation of high-calcareous phosphorites of Central Kyzylkum with organic acid solutions / A. Seitnazarov, Sh. Namazov, B. Beglov // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 2014. – Vol. 49, № 4. – P. 383–390.
10. Характеристика фосфоритов Каракалпакстана и их физико-химические, механические свойства / Т. С. Бауатдинов, С. Бауатдинов, С. М. Таджиев [и др.] // *Химическая промышленность*. – 2016. – Т. 93, № 6. – С. 284–290.
11. Mineral Composition of Nodular Phosphorite of Karakalpakstan and its Processing into Simple Superphosphate / J. Xudoyberdiev, A. Reymov, R. Kurbaniyazov [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – 2023. – № 449. – P. 06005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344906005>
12. Активация природного фосфатного сырья / Б. М. Беглов, Ш. С. Намазов, А. М. Реймов, А. Р. Сейтназаров. – Ташкент : ФАН, 2021. – 252 с.
13. Вейдерма, М. А. Сравнительная физико-химическая и технологическая характеристика природных фосфатов / М. А. Вейдерма // *Известия Академии наук Эстонской ССР. Сер. Химия, геология*. – 1977. – Т. 26, № 1. – С. 28–32.
14. Фосфоритовая мука – бескислотная форма фосфорных удобрений / А. Р. Сейтназаров, У. М. Турдалиев, Ш. С. Намазов [и др.] // *Химический журнал Казахстана*. – 2017. – № 3 (59). – С. 157–173.
15. Применение промышленной фосфоритной муки и местных сыромолотых фосфоритов : рекомендации / И. В. Войтович, Б. А. Сушеница, В. Н. Капранов, В. Н. Дышко. – Немчиновка (Моск. обл.) : Изд-во НИИСХ ЦРНЗ, 2004. – 23 с.
16. Mechanochemical activation of ordinary phosphorite powder of Central Kyzyl Kum mixed with urea nitrate and ammonium carbonate salts / A. R. Seitnazarov, S. A. Musaeva, Sh. S. Namazov, B. M. Beglov // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2007. – Vol. 80, № 11. – P. 1973–1976. <https://doi.org/10.1134/S1070427207110432>
17. Ibrahim, S. S. Effect of intensive mechanical stresses on phosphate chemistry as a way to increase its solubility for fertilizer application / S. S. Ibrahim, A. A. El-Midany, T. R. Boulous // *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*. – 2010. – Vol. 44. – P. 79–92.
18. Янева, В. Структурные преобразование сирийского фосфорита при механохимической активации / В. Янева, В. Петкова, И. Домбалов // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2005. – № 13. – С. 351–358.
19. Механохимическая активация фосфоритовой муки Ходжакульского месторождения / Б. У. Пирназаров, Р. К. Курбаниязов, А. М. Реймов [и др.] // *Химическая промышленность*. – 2022. – Т. 99, № 1. – С. 9–15.
20. Минаковский, А. Ф. Бескислотный метод переработки фосфоритов (бассейн Каратау) в комплексные удобрения / А. Ф. Минаковский, В. И. Шатило // *Весті Національної академії наук України. Серія хімічних наук*. – 2018. – Т. 54, № 3. – С. 376–384. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-3-376-384>
21. Фосфоритная мука: способы ее получения и применение / Ф. Ф. Можейко, И. И. Гончарик, З. А. Готто [и др.] // *Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ*. – 2014. – № 3. – С. 84–88.
22. Вакал, С. В. Разработка и освоение безотходной технологии получения кальцийсодержащего комплексного удобрения / С. В. Вакал, Э. А. Карпович, А. В. Силич // *Екологічна безпека*. – 2011. – № 1 (11). – С. 70–72.
23. Исследование процесса получения суперфосфата разложением фторапатита серной кислотой в присутствии интенсифицирующих добавок / М. М. Самедов, Д. М. Мустафазаде, Г. М. Мамедова, С. Г. Джавадова // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. – 2022. – № 4 (152). – С. 23–32. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2022-4-23-32>
24. Винник, М. М. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов / М. М. Винник, Л. Н. Ербанова, П. М. Зайцев. – М. : Химия, 1975. – 218 с.

References

1. Population of Uzbekistan. *Wikipedia*. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Population_of_Uzbekistan#cite_note-1 (accessed 15 May 2024) (in Russian).
2. Falina N. V., Dyukarev D. O. World market of mineral fertilizers. *Economics*, 2016, no. 1 (10). Available at: <https://scienceproblems.ru/images/PDF/2016/1/mirovoj-rynok-mineralnyh-udobrenij.pdf> (accessed 15 May 2024) (in Russian).
3. Georgievsky A. F., Bugina V. M. Current state and prospects for the development of the phosphate raw material base of Russia. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 197–207 (in Russian). <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-3-197-207>
4. Angelov L. I., Aleinov D. P., Levin B. V. Prospects for the supply of phosphate raw materials to the mineral fertilizer industry. *Chemical Industry Developments*, 2006, no. 7, pp. 11–17 (in Russian).
5. Beglov B. M., Namazov Sh. S. *Phosphorites of the Central Kyzylkum and their processing*. Tashkent : FAN Publ., 2013. 460 p. (in Russian).
6. Caesar Norbert V. Industrial removal of chlorides from phosphate ore during wet enrichment in extreme conditions of the Kyzylkum desert. *Gornyy vestnik Uzbekistana*, 2008, no. 4, pp. 54–58 (in Russian).

7. Dekhkanov Z. K., Namazov Sh. S., Seitnazarov A. R., Beglov B. M. Phosphorites of the Central Kyzylkum and their enrichment. *Uzbek Chemical Journal*, 2016, no. 3, pp. 70–80 (in Russian).
8. Sultonov B. E., Namazov Sh. S., Zakirov B. S. Investigation of nitric acid benefit of low grade phosphorites from Central Kyzylkum. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2015, vol. 50, no. 1, pp. 26–34.
9. Seitnazarov A., Namazov Sh., Beglov B.. Beneficiation of high-calcareous phosphorites of Central Kyzylkum with organic acid solutions. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2014, vol. 49, iss. 4, pp. 383–390.
10. Bauatdinov T. S., Bauatdinov S., Tadzhiev S. M., Reimov A. M., Allaniyazov D. O. Characteristics of phosphorites of Karakalpakstan and their physicochemical, mechanical properties. *Khimicheskaya promyshlennost'* [Chemical industry], 2016, vol. 93, no. 6, pp. 284–290 (in Russian).
11. Xudoyberdiev J., Reymov A., Kurbaniyazov R., Badalova O., Seytnazarov A. Mineral Composition of Nodular Phosphorite of Karakalpakstan and its Processing into Simple Superphosphate. *E3S Web of Conferences*, 2023, no. 449, art. 06005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344906005>
12. Beglov B. M., Namazov Sh. S., Reimov A. M., Seitnazarov A. R. *Activation of natural phosphate raw materials*. Tashkent, FAN Publ., 2021. 252 p. (in Russian).
13. Veiderma M. A. Comparative physicochemical and technological characteristics of natural phosphates. *Izvestiya Akademii nauk Estonskoi SSR. Ser. Khimiya, geologiya* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Estonian SSR. Series “Chemistry, Geology”], 1977, vol. 26, no. 1, pp. 2–32 (in Russian).
14. Seitnazarov A. R., Turdialiev U. M., Namazov Sh. S., Beglov B. M., Dekhkanov Z. K., Kurbaniyazov R. K. Phosphorite flour is an acid-free form of phosphate fertilizers. *Chemical Journal of Kazakhstan*, 2017, no. 3 (59), pp. 157–173 (in Russian).
15. Voitovich I. V., Sushenitsa B. A., Kapranov V. N., Dyshko V. N. *The use of industrial phosphate rock and local raw-ground phosphate rocks: Recommendations*. Nemchinovka (Moscow region), Publishing house of the Research Institute of Agriculture TsRNZ, 2004. 23 p. (in Russian).
16. Seitnazarov A. R., Musaeva S. A., Namazov Sh. S., Beglov B. M. Mechanochemical activation of ordinary phosphorite powder of Central Kyzyl Kum mixed with urea nitrate and ammonium carbonate salts. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2007, vol. 80, no. 11, pp. 1973–1976. <https://doi.org/10.1134/S1070427207110432>
17. Ibrahim S. S., El-Midany A. A., Boulos T. R. Effect of intensive mechanical stresses on phosphate chemistry as a way to increase its solubility for fertilizer application. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 2010, vol. 44, pp. 79–92.
18. Yaneva V., Petkova V., Dombalov I. Structural transformation of Syrian phosphorite during mechanochemical activation. *Chemistry for Sustainable Development*, 2005, no. 13, pp. 351–358 (in Russian).
19. Pirnazarov B. U., Kurbaniyazov R. K., Reimov A. M., Seitnazarov A. R., Namazov Sh. S. Mechanochemical activation of phosphorite flour from the Khodzhaikul deposit. *Khimicheskaya promyshlennost'* [Chemical industry], 2022, vol. 99, no. 1, pp. 9–15 (in Russian).
20. Minakovskiy A. F., Shatilo V. I. It was shaking. Acid-free method of processing phosphorites (Karatau basin) into complex fertilizers/ *Vesti Natsyional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya khimichnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 3, pp. 376–384 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-3-376-384>
21. Mozheiko F. F., Goncharik I. I., Gotto Z. A., Potkina T. N., Shevchuk V. V. Phosphorite flour: methods of its production and use. *Proceedings of BSTU. Issue 3: Chemistry and technology of inorganic substances*, 2014, no. 3, pp. 84–88 (in Russian).
22. Vakal S. V., Karpovich E. A., Silich A. V. Development and mastery of waste-free technology for producing calcium-containing complex fertilizer. *Ekologichna bezpeka* [Ecological benefits], 2011, no. 1 (11), pp. 70–72 (in Russian).
23. Samedov M. M., Mustafazade D. M., Mamedova G. M., Javadova S. G. Study of the process of obtaining superphosphate by decomposition of fluorapatite with sulfuric acid in the presence of intensifying additives. *Vestnik of the Kuzbass State Technical University*, 2022, no. 4 (152), pp. 23–32 (in Russian). <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2022-4-23-32>
24. Vinnik M. M., Erbanova L. N., Zaitsev P. M. *Methods for analyzing phosphate raw materials, phosphorus and complex fertilizers, feed phosphates*. Moscow, Khimiya Publ., 1975. 218 p. (in Russian).

Информация об авторах

Алламуратова Айжамал Жумамуратовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры. Каракалпакский государственный университет (ул. Ш. Абдилов, 1, 230100, Нукус, Республика Узбекистан). E-mail: allamuratovaayjamal9@gmail.com

Эркаев Актам Улашевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры. Ташкентский химико-технологический институт (ул. Навои, 32, 100011, Ташкент, Республика Узбекистан). E-mail: Aerkaev_1960@mail.ru

Реймов Ахмед Мамбеткаримович – академик, доктор технических наук, ректор. Каракалпакский государственный университет (ул. Ш. Абдилов, 1, 230100, Нукус, Республика Узбекистан). E-mail: r.axmed@exat.uz

Казахбаев Сапарбай Атабаевич – базовый докторант. Каракалпакский государственный университет (ул. Ш. Абдилов, 1, 230100, Нукус, Республика Узбекистан). E-mail: sapar_91.91@list.ru

Дормешкин Олег Борисович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, Минск, Республика Беларусь). E-mail: dormeshkin@yandex.ru

Information about the authors

Allamuratova Ayzhamal Zh. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department. Karakalpak State University (1, Sh. Abdirov Str., 230100, Nukus, Republic of Uzbekistan). E-mail: allamuratovaayjamal9@gmail.com

Erkaev Aktam U. – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department. Tashkent Chemical and Technological Institute (32, Navoi Str., 100011, Tashkent, Republic of Uzbekistan). E-mail: Aerkaev_1960@mail.ru

Reymov Akhmed M. – Academician, Dr. Sci. (Engineering), Rector. Karakalpak State University (1, Sh. Abdirov Str., 230100, Nukus, Republic of Uzbekistan). E-mail: r.axmed@exat.uz

Kazakhbaev Saparbay A. – Basic Doctoral Student. Karakalpak State University (1, Sh. Abdirov Str., 230100, Nukus, Republic of Uzbekistan). E-mail: sapar_91.91@list.ru

Dormeshkin Oleg B. – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dormeshkin@yandex.ru