

## ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ TECHNOLOGY OF INORGANIC SUBSTANCES

Научная статья

УДК 661.632.2.099.2

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-26-34

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ФОСФОРНОГО МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ

Келбалиев Гудрет Исфендияр оглы <sup>1</sup>, Самедов Мухтар Мамед оглы <sup>2</sup>,  
Мустафа-заде Джейхун Муса оглы <sup>2</sup>, Алиева Саадат Гярай кызы <sup>2</sup>,  
Мамедова Гюльнура Мустафа кызы <sup>3</sup>, Джавадова Садегюль Гасан кызы <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт катализа и неорганической химии им. М. Нагиева,

<sup>2</sup>Сумгаитский государственный университет

<sup>3</sup>Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

\*для корреспонденции: samedov-muxtar@mail.ru



#### Информация о статье

Поступила:

19 апреля 2023 г.

Одобрена после  
рецензирования:

15 июня 2023 г.

Принята к публикации:

20 июня 2023 г.

Опубликована:

30 июня 2023 г.

#### Ключевые слова:

минеральные удобрения,  
разложение, датолитовый  
концентрат, грануляция,  
микроэлементы

#### Аннотация.

С целью получения микроэлементизированного фосфорного удобрения процесс разложения фторapatита серной кислотой осуществляли с применением добавки датолитового концентрата. Экспериментальными исследованиями изучено влияние датолитового концентрата на процесс сернокислотного разложения исходного сырья. Полученное микроэлементизированное порошкообразное минеральное удобрение подвергли грануляции в цилиндрическом грануляторе методом окатывания. При грануляции порошкообразного материала в качестве увлажняющей и связующей жидкости использовали суспензии, содержащие  $Fe_2O_3$  и  $B_2O_3$ . Экспериментальными исследованиями установлено, что при сернокислотном разложении фторapatита с применением датолитового концентрата оптимальным количеством добавки следует считать 6-10% от массы исходного сырья, при этом степень разложения фторapatита в порошкообразном минеральном удобрении составляет 94-96%. Полученное микроэлементизированное порошкообразное фосфорное удобрение гранулировали в лабораторном грануляторе и определили физико-химические и механические свойства полученного продукта. Установлено, что с применением модифицирующих добавок гранулированное фосфорное удобрение обладает улучшенными физико-химическими и механическими свойствами, т.е. механическая прочность составляет 2,5МПа, выход товарной фракции 85%, и оно обогащается дополнительными питательными микроэлементами – бором и железом. С использованием экспериментальных показателей получена математическая зависимость между механической прочностью гранул и количеством добавки, которое адекватно описывает экспериментальные данные.

**Для цитирования:** Келбалиев Г.И., Самедов М.М., Мустафа-заде Д.М., Алиева С.Г., Мамедова Г.М., Джавадова С.Г. Исследование процесса получения фосфорного минерального удобрения

---

модифицированного микроэлементами // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 3 (157). С. 26-34. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-26-34, EDN: TSPPUR

---

**Введение.** Известно, что микроэлементы, жизненно важные для растений – это те, которые не могут быть заменены другими элементами в их специфической биохимической роли и которые имеют прямое влияние на организм растений, то есть без них он не может ни расти, ни завершить некоторые метаболические циклы. Установлено, что железо входит в несущий скелет растений и участвует в процессах фотосинтеза, фиксации азота и окислительно-восстановительных реакциях, бор входит связанным в виде мелких молекул, в том числе антибиотиков, участвует в процессах метаболизма и в переносе углеводов, синтезе флавоноидов, синтезе нуклеиновых кислот, утилизации фосфата, а также в образовании полифенолов [1].

Поэтому исследование процесса получения фосфорного удобрения, содержащего бор и железо, представляет научно-практический интерес с точки зрения эффективности полученного минерального удобрения.

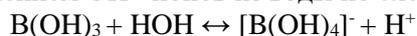
Авторами изучено, что для улучшения качества полученных минеральных удобрений при разложении природных фосфатов серной кислотой применяются различные добавки. Однако не все добавки достигли широкого применения. Одними из наиболее широко применяемых добавок являлись поверхностно-активные вещества (ПАВ) [2-5]. Установлено, что при разложении природных фосфатов серной кислотой применение в качестве добавки ПАВ позволяет увеличить степень разложения исходного сырья, улучшить физические, химические и механические свойства синтезированного минерального удобрения и позволяет применять серную кислоту более высокой концентрации. Однако эффективность производства минеральных удобрений с применением ПАВ не достигла ожидаемых результатов, поэтому применение ПАВ в процессе получения минеральных удобрений не нашло широкого применения. Лабораторными опытами установлено, что ПАВ не оказывает значительного влияния на скорость вызревания в течение первых суток. Некоторые исследователи считают, что наиболее важным преимуществом применения ПАВ в процессе получения фосфорсодержащих минеральных удобрений является улучшение физических свойств продукта [6].

Основным недостатком вышеуказанного способа является то, что вредное воздействие ПАВ может проявиться при дальнейшем использовании минеральных фосфорсодержащих удобрений для получения гранулированных смешанных удобрений.

С целью более интенсивного выделения газообразных веществ в камере для получения пористого продукта к некоторым природным фосфатам добавляют карбонат кальция. Установлено, что этот способ особенно целесообразен при переработке Хибинского апатитового концентрата. Известняк и доломит применяют также для кондиционирования фосфорсодержащих минеральных удобрений. Недостатком этого способа является возможная ретроградация усвояемой формы  $P_2O_5$ .

**Экспериментальная часть.** С целью увеличения степени разложения природного фосфатного сырья и обогащения фосфорсодержащего минерального удобрения микроэлементами в качестве исходного сырья использовали апатитовый концентрат стандартного состава и в качестве добавки датолитовый концентрат по ГОСТ-у 16108-80.

Присутствие датолитового концентрата в реакционной зоне при разложении природных фосфатов серной кислотой одновременно разлагает датолитовый концентрат с образованием борной кислоты. Образование борной кислоты оказывает положительное влияние на увеличение степени разложения исходного сырья. Известно, что ортоборная кислота является слабой кислотой [7]. В отличие от обычных кислот ее кислотные свойства проявляются не отщеплением ионов водорода ( $H^+$ ), а присоединением  $OH^-$  ионов из воды по следующей схеме:



В конечном счете образовавшиеся ионы водорода способствуют увеличению общей концентрации водородных ионов и оказывают положительное воздействие на более глубокое разложение природного фосфата.

Эксперименты проводили на лабораторной установке по следующей последовательности [8]:

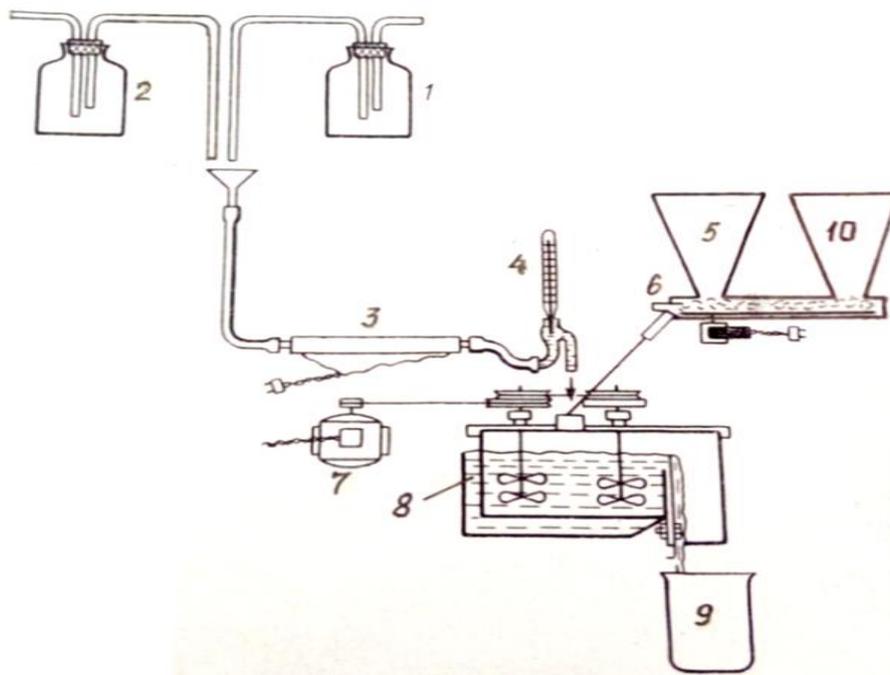


Рис. 1. Принципиальная схема модельной установки для синтеза микроэлементизированного минерального удобрения: 1 и 2 – склянки сернокислотного раствора и технической воды; 3 – подогреватель сернокислотного раствора; 4 – ртутный термометр фиксации; 5 – емкость для апатитового концентрата; 6 – регулятор расхода апатита; 7 – мотор; 8 – смеситель; 9 – фарфоровый стакан; 10 – емкость для датолитового концентрата.

Fig. 1. Schematic diagram of a model installation for the synthesis of microelementized mineral fertilizers: 1 and 2 – vials of sulfuric acid solution and technical water; 3 – heater of sulfuric acid solution; 4 – mercury fixation thermometer; 5 – container for apatite concentrate; 6 – apatite flow regulator; 7 – motor; 8 – mixer; 9 – porcelain glass; 10 – container for datolite concentrate.

Таблица 1.

Состав микроэлементизированного фосфорного удобрения и степень разложения апатитового концентрата в продукте, полученного с добавкой датолитового концентрата (Исходная концентрация сернокислотного раствора – 64%; норма – 69 вес. ч. на 100 вес. ч. Апатитового концентрата)

Table 1.

The composition of microelementized phosphorus fertilizer and the degree of decomposition of apatite concentrate in the product obtained with the addition of datolite concentrate (Initial concentration of sulfuric acid solution - 64%; norm - 69 mass p. per 100 mass p. Apatite concentrate)

Количество добавки, % от массы апатита	Показатели фосфорного удобрения после десятисуточного дозревания, масс. %						Степень разложения %
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ув.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> своб.	Fe	B	H <sub>2</sub> O	
0	21,49	19,76	7,03	-	-	8,89	91,95
2	21,38	19,86	6,95	0,25	0,10	8,32	92,89
4	21,31	19,95	6,69	0,39	0,12	8,16	93,62
6	21,16	19,94	6,47	0,63	0,15	7,95	94,23
8	20,71	19,92	5,91	0,95	0,19	7,82	96,19
10	20,49	19,61	5,75	1,18	0,20	7,70	95,71
12	20,44	19,28	5,82	1,53	0,22	7,58	94,32
14	20,38	19,01	6,39	1,89	0,24	7,50	93,28
16	20,37	18,61	7,04	2,20	0,26	7,39	91,36

В склянку 1 наливали 2-2,5 л серной кислоты с концентрацией 75%, в склянку 2 наливали 1-2 л воды. Расчетное количество серной кислоты и воды через подогреватель 3 поступает в смеситель 8, туда же одновременно поступает апатитовый концентрат из бункера 5, датолитовый концентрат из бункера 10. Расход исходного сырья регулируют регулятором расхода 6. В

смесителе 8 жидкая и твердая фаза смешиваются в течение 7-8 минут для получения хорошо схватывающейся пульпы. После установления нормального режима смешения отводят пульпу в предварительно взвешенный и подогретый фарфоровый стакан 9 емкостью 1 л (Рис. 1). По заполнении стакана его помещают в термостат, где выдерживают в течение 1 ч при 110-115 °С. После этого полученный продукт извлекают из термостата, обрабатывают и анализируют стандартными методами.

Как видно из Табл. 1, с введением добавки датолитового концентрата существенно возрастает степень разложения апатитового концентрата в полученном продукте, то есть эффективным методом ускорения разложения является поддержание высокого градиента концентрации по продуктам реакции в диффузионном слое. Важно также, чтобы продукты реакции кристаллизовались не на поверхности растворяющегося твердого тела, а в объеме раствора. Одним из методов, позволяющих достичь кристаллизацию продуктов реакции в объеме раствора в процессе разложения природных фосфатов серной кислотой, является осаждение растворенных веществ из общего объема реакционной системы, то есть уменьшение его количества в реакционной системе. При растворении апатитового концентрата в 63%-ном серноокислотном растворе добавление в реакционную зону датолитового концентрата способствует образованию борной кислоты, которая связывает  $\text{OH}^-$  ионы из воды с выделением ионов водорода ( $\text{H}^+$ ), в результате чего увеличивается концентрация ионов водорода в жидкой фазе, что оказывает положительное влияние на более глубокое разложение исходного сырья. Кроме того, кристаллизация малорастворимого соединения – гидрата сульфата кальция и его осаждение уменьшают его концентрацию в растворе. В результате возрастает градиент концентрации по иону кальция и ускоряется растворение фторapatита. При этом очевидно, что конверсия растворенной соли с сульфат-ионом и образование кристаллов гидрата сульфата кальция протекает не на поверхности растворяемого тела, а преимущественно в объеме раствора, т.е. во внешней поверхности диффундирующего реагента [9].

Полученное порошкообразное удобрение гранулировали с применением суспензии, содержащей  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

Известно, что наибольшее влияние на показатели качества гранулированных фосфорных удобрений оказывает содержание свободной фосфорной кислоты в удобрении, а следовательно, и способ ее нейтрализации. В литературе имеется достаточно информации о лабораторных исследованиях и работе промышленных установок по нейтрализации свободной фосфорной кислоты в порошкообразном удобрении различными способами [10]. В преобладающем большинстве случаев нейтрализацию кислого порошкообразного удобрения осуществляют природным карбонатсодержащим материалом-известняком [11].

Представляло интерес исследовать процесс нейтрализации  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в порошкообразном фосфорном удобрении суспензией, содержащей  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ . В связи с этим в лабораторных условиях нами было изучено влияние добавки суспензии на состав, физико-химические и механические свойства гранулированного фосфорного удобрения [12-13]. Навеску порошкообразного удобрения (100-200г.) помещали в лабораторный гранулятор и при грануляции увлажняли суспензией, содержащей  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Количество добавки изменяли в пределах 2-18% от массы порошкообразного удобрения. Время окатывания составляло 10 минут. По окончании гранулирования влажный гранулят высушивали в термостате при температуре 90-100°С в течение 1,0-1,5 ч. Готовый продукт анализировали на содержание всех видов фосфора, микроэлементов и влаги [14], определяли выход товарной фракции и механическую прочность гранул [15].

Полученные результаты представлены в Табл. 2. Как видно из данных таблицы, при внесении небольшого количества добавки [2–6% (масс.) от массы порошкообразного удобрения] нейтрализация свободной  $\text{H}_3\text{PO}_4$  до требуемого уровня не происходит, поэтому нужно использовать дополнительно карбонатсодержащий материал – известняк (40-80% от стехиометрии). При добавлении суспензии 8-12% от массы исходного порошкообразного материала обеспечивается требуемый уровень нейтрализации, и необходимость применения известняка исключается. В этом случае полученный продукт содержит до 1,75% Fe и 0,25% B, что достаточно для микроэлементизированных удобрений. Удобрение обладает хорошими физико-химическими свойствами без снижения содержания усвояемой формы  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Таблица 2. Физико-химические показатели гранулированного микроэлементизированного удобрения, полученного нейтрализацией свободной  $H_3PO_4$  суспензией, содержащего  $Fe_2O_3$  и  $B_2O_3$   
 Table 2. Physical-chemical parameters of granular microelementized fertilizer obtained by neutralization of free  $H_3PO_4$  suspension containing  $Fe_2O_3$  and  $B_2O_3$

Количество добавки суспензии, % от массы порошкообразного удобрения	Содержание в продукте, % (масс.)						Степень разложения, %
	Усвоя. фосфо. ангид.	Водрас фосфо. ангид.	Своб. фосфо. ангид.	Fe	B	Влага	
-	19,74	18,65	6,05	-	-	3,8	93,77
2	19,86	18,77	4,82	0,27	0,11	3,46	94,00
4	20,17	18,94	3,70	0,42	0,14	3,15	94,65
6	20,39	19,12	2,84	0,65	0,17	2,98	95,28
8	20,46	19,27	1,97	1,08	0,21	2,70	95,95
10	20,71	19,40	1,50	1,22	0,23	2,73	96,39
12	20,70	18,32	1,04	1,75	0,25	2,91	96,07
14	19,82	17,47	0,30	2,08	0,27	2,98	92,34
16	19,04	16,02	0,05	2,32	0,30	3,05	90,23
18	17,56	14,17	0,00	2,50	0,33	3,22	87,98

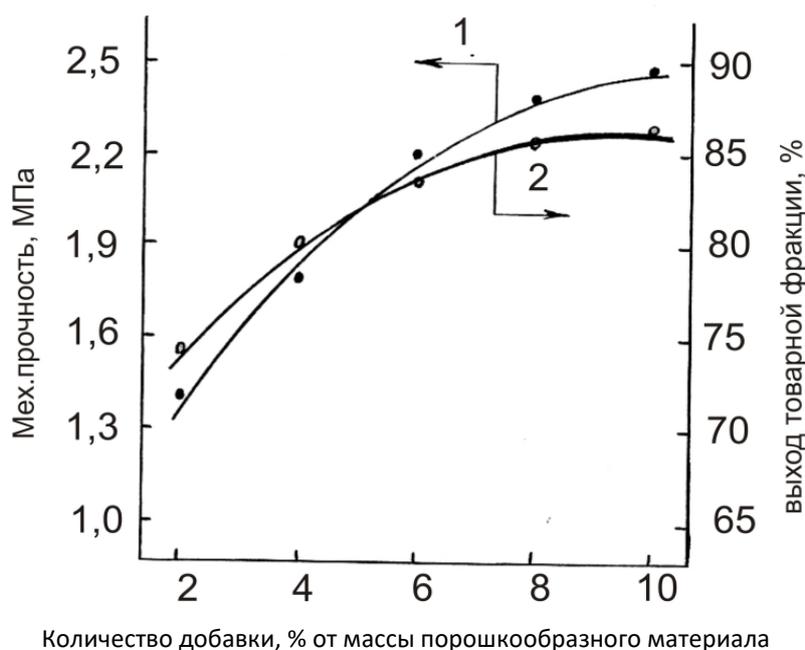


Рис. 2. Зависимости влияния добавки на механическую прочность гранул (кривая I) и на выход товарной фракции (кривая II).

Fig. 2. Dependences of the influence of the additive on the mechanical strength of granules (curve I) and on the yield of the commercial fraction (curve II).

Увеличение количества добавки приводит к незначительной ретроградации усвояемой формы  $P_2O_5$ . Дальнейшее повышение нормы добавки до 18% (масс.) приводит к постепенному снижению содержания усвояемого фосфора, и водорастворимая форма  $P_2O_5$  резко переходит в цитратнорастворимую. При оптимальном режиме процесс гранулообразования протекает стабильно, создаются благоприятные условия для образования гранул, что способствует улучшению физико-механических свойств продукта.

Как видно из Рис. 2, с увеличением количества добавки прочность гранул повышается (кривая I). Это объясняется тем, что в процессе образования зародышей и формирования гранул применяемая суспензия, выполняя функцию дополнительного связывающего материала,

покрывает тонкой оболочкой поверхность гранул и придает им механическую прочность. Зависимость механической прочности гранулы от количества добавки можно выразить формулой

$$\Delta = \Delta_{\infty} - (\Delta_{\infty} - \Delta_0) \exp(-km)$$

где  $\Delta$  – механическая прочность гранулы,  $МПа$ ,  $\Delta_{\infty}$  – максимальная прочность гранулы,  $МПа$ ,  $\Delta_0$  – прочность гранулы без добавки,  $МПа$ ,  $m$  – количество добавки, %.

Для гранул фосфорных минеральных удобрений, используя экспериментальные данные, можно написать

$$\Delta = 2.6 - 2.2 \exp(-0.25m)$$

Указанная формула достаточно адекватно описывает экспериментальные данные, приведенные на Рис. 2.

С ростом количества добавки увеличивается также выход товарной фракции (Рис. 2, кривая 2). Очевидно, что при гранулировании порошкообразного материала,  $Fe_2O_3$  и  $V_2O_5$ , входящие в состав суспензии заполняют поры образующихся гранул. Таким образом, формирующиеся из мелких фракций гранулы становятся более плотными, и гранулометрический состав продукта улучшается.

**Обсуждение результатов.** Динамика увеличения степени разложения наблюдается при добавке до 10% от массы фторапатита. Такая тенденция объясняется еще и тем, что с введением добавки в систему  $CaO - P_2O_5 - H_2O$  образуются дополнительные ионы  $H^+$ , что способствует активации водородных ионов, а сульфат-ионы реагируют с ионами кальция с образованием гидрата сульфата кальция, таким образом создаются благоприятные состояния о высокой степени разложения апатитового концентрата.

Наиболее высокое количество добавки т.е. более, чем на 10% от количества датолитового концентрата, неэффективно, поскольку степень разложения исходного сырья постепенно снижается.

Проведенными исследованиями установлено, что наиболее высокая степень разложения исходного сырья достигается при добавке датолитового концентрата 6-10% от массы апатитового концентрата, т.е. степень разложения составляет 94,23-96,19%.

Описанный способ получения микроэлементизированного гранулированного фосфорного удобрения опробован в опытно-промышленных условиях на Сумгайтском суперфосфатном заводе. Данные лабораторных исследований полностью подтвердились.

Таким образом, оптимальной следует считать норму добавки 8–10% от массы порошкообразного материала. Полученное по данной технологии гранулированное фосфорное удобрение обладает хорошими физико-химическими свойствами, ретроградаций усвояемого фосфорного ангидрида не происходит, механическая прочность гранул достигает 2,5 МПа, выход товарной фракции составляет 85%.

Проведение процесса в указанном интервале добавки датолитового концентрата и суспензии, содержащих  $Fe_2O_3$  и  $V_2O_5$ , позволяет повысить качественные показатели продукта:  $P_2O_5$ усл. – 20,46 – 20,70;  $P_2O_5$ вод. – 18,32-19,27;  $P_2O_5$ своб. – 1,97 – 1,04; В – 0,21-0,25; Fe – 1,08 – 1,75.

**Вывод.** Согласно полученным экспериментальным и расчетным данным, установлено, что проведение процесса получения микроэлементизированного фосфорного удобрения с применением датолитового концентрата и суспензии, содержащих  $Fe_2O_3$  и  $V_2O_5$ , позволяет повысить качественные показатели удобрения. Таким образом, увеличивается количество питательных веществ в товарном продукте за счет повышения степени разложения исходного сырья, а продукт дополнительно обогащается микроэлементами, такими как бор и железо.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер.с англ. М. : Мир, 1989. 439с.
2. Кармышов В. Ф. Химическая переработка фосфоритов. М. : Химия, 1983. 304 с.
3. Технология фосфорных и комплексных удобрений. / Под. ред. Эвенчика С. Д. и Бродского А. А. М. : Химия, 1987. 464 с.
4. Классен П. В., Суцев С. В., Кладос Д. К. и др. Изучение возможности использования отечественных фосфоритов (на примере Егорьевских) для получения экстракционной фосфорной кислоты и

фосфорсодержащих удобрений // Химическая промышленность сегодня. 2010. №2. С.8–11.

5. Самедов М. М., Мамедова Г. М., Джавадова С. Г. Получения фосфорсодержащих минеральных удобрений разложением природных фосфатов серной кислотой с применением интенсифицирующих добавок // Научные известия СГУ, Серия: Естественные и технические науки. 2020. Т. 20. №1. С. 21–25.

6. Суперфосфат. Перев. с англ. под ред. докт. техн. наук. проф. А. А. Соколовского. М. : Химия, 1979. 336 с.

7. Ахметов Н. С. Общая и неорганическая химия. Учеб. для вузов. / 5-е изд., испр. М. : Высшая школа, 2003. 743 с.

8. Позин М. Е. Руководство к практическим занятиям по технологии неорганических веществ. Л. : Химия, 1988. 304 с.

9. Орехов И. И., Власова Т. Л. Влияние сульфат-иона на механизм взаимодействия природных фосфатов с фосфорной кислотой // Химическая промышленность. 1985. № 2. С. 755–757.

10. Чепелевецкий М. Л., Бруцкус Е. Б. Суперфосфат. Физико-химические основы производства. М. : Госхимиздат, 1968. 272 с.

11. Позин М. Е. Технология минеральных удобрений. Л. : Химия, 1989. 352 с.

12. Kelbaliyev G. I., Samedli V. M., Samedov M. M. Kinetic Laws of the Granulation Process of Powdered Materials in Drum Granulators // Russian Journal of Applied Chemistry. Germany. 2015. Vol. 88. № 5. Pp. 852–860.

13. Kelbaliyev G. I., Samedli V. M., Samedov M. M. Journal of Dispersion Science and Technology. London. 2011. Vol.32. № 6. Pp. 799–806.

14. Кельман Ф. Н., Бруцкис Е. Б., Ошеревич Р. Х. Методы анализа при контроле производства серной кислоты и фосфорных удобрений. М. : Химия, 1985. 370 с.

15. Технический анализ и контроль в производстве неорганических веществ. / Под ред. проф. Н. С. Торочешникова. М. : Высшая школа, 1986. 280 с.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Келбалиев Гудрет Исфендияр оглы**, доктор технических наук, профессор, член-корр. Национальной Академии Наук Азербайджана. Институт катализа и неорганической химии им. Академика М.Ф. Нагиева (А 1143, Баку, пр. Г. Джавида, 113) kudret.kelbaliev@mail.ru

**Самедов Мухтар Мамед оглы**, ученый секретарь, доктор технических наук, профессор, Сумгаитский государственный университет (AZ5008 Азербайджанская Республика, гор. Сумгаит, 43-ий квартал), samedov-muxtar@mail.ru

**Мустафа-заде Джейхун Муса оглы**, диссертант, Сумгаитский государственный университет (СГУ), (AZ5008 Азербайджанская Республика, гор. Сумгаит, 43-ий квартал), seyhun1903.cm.92@gmail.com

**Алиева Саадат Гярай кызы**, зав.лабораторией кафедры «Химия и методики ее преподавания» Сумгаитский государственный университет (СГУ), (AZ5008 Азербайджанская Республика, гор. Сумгаит, 43-ий квартал), e-mail: sadet.aliyeva@inbox.ru

**Мамедова Гюльнура Мустафа кызы**, доцент, доктор философии по техническим наукам, доцент, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (АГУНП), (AZ1010. Азербайджанская Республика, гор. Баку, пр. Азадлыг, 34), Gulnure55@gmail.com

**Джавадова Садегюль Гасан кызы**, старший преподаватель, Сумгаитский государственный университет (СГУ), (AZ5008 Азербайджанская Республика, гор. Сумгаит, 43-ий квартал), kamal.cavadov.94@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Келбалиев Гудрет Исфендияр оглы – разработка математической зависимости.

Самедов Мухтар Мамед оглы – постановка исследовательской задачи.

Мустафа-заде Джейхун Муса оглы – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, выводы, написание текста.

Алиева Саадат Гярай кызы – сбор и анализ данных по разложению исходного сырья.

Мамедова Гюльнура Мустафа кызы – научный менеджмент.

Джавадова Садегюль Гасан кызы – сбор и анализ данных по грануляции порошкообразного материала.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

## STUDY OF THE PROCESS OF OBTAINING PHOSPHORIC MINERAL FERTILIZER MODIFIED BY MICROELEMENTS

Kelbaliyev Gudret Isfendiyar oglu <sup>1</sup>, Samedov Mukhtar Mammad oglu <sup>2</sup>,  
Mustafa-zadeh Jeihun Musa oglu <sup>2</sup>,  
Aliyeva Saadat Gyaray kyzy <sup>2</sup>, Mammadova Gulnara Mustafa kyzy <sup>3</sup>,  
Javadova Sadegul Hasan kyzy <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after Academician M.F. Nagiyev

<sup>2</sup> Sumgait State University

<sup>3</sup> Azerbaijan State University of Oil and Industry

\*for correspondence: samedov-muxtar@mail.ru



### Article info

Received:

19 April 2023

Accepted for publication:

15 June 2023

Accepted:

20 June 2023

Published:

30 June 2023

**Keywords:** mineral fertilizers, decomposition, datolite concentrate, granulation, microelements

### Abstract.

*In order to obtain microelementized phosphate fertilizer, the process of decomposition of fluorapatite with sulfuric acid was carried out using the addition of datolite concentrate. The effect of datolite concentrate on the process of sulfuric acid decomposition of the feedstock was studied with the help of experiments. The obtained microelementized powdered mineral fertilizer was subjected to granulation in a cylindrical granulator by the pelletizing method. When granulating a powdered material, suspensions containing Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were used as a moisturizing and binding liquid. Experimental studies have established that, in the case of sulfuric acid decomposition of fluorapatite using datolite concentrate, the optimal amount of additive should be considered 6-10% by weight of the feedstock. At the same time, the degree of decomposition of fluorapatite in powdered mineral fertilizer is 94-96%. The resulting microelementized powdered phosphorus fertilizer was granulated in a laboratory granulator and the physicochemical and mechanical properties of the resulting product were determined. It has been established that with the use of modifying additives, granular phosphorus fertilizer has improved physical, chemical and mechanical properties, namely mechanical strength is 2.5 MPa, the yield of commercial fraction is 85% and is enriched with additional micronutrients - boron and iron. With the use of experimental indicators, a mathematical dependence was obtained between the mechanical strength of granules on the amount of additive, which adequately describes the experimental data*

**For citation:** Kelbaliyev G.I., Samedov M.M., Mustafa-zade J.M., Aliyeva S.G., Mamedova G.M., Javadova S.G. Study of the process of obtaining phosphoric mineral fertilizer modified by microelements. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 3(157):26-34. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-26-34, EDN: TSPPUR

### REFERENCES

1. Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroelementy v pochvah i rasteniyah: Per.s angl. M.: Mir; 1989. 439s.
2. Karmyshov V.F. Himicheskaya pererabotka fosforitov. M.: Himiya; 1983. 304 s.
3. Tekhnologiya fosfornyh i kompleksnyh udobrenij. / Pod. red. Evenchika S.D. i Brodskogo A.A. M.: Himiya; 1987. 464 s.
4. Klassen P.V., Sushchev S.V., Klados D.K. i dr. Izuchenie vozmozhnosti ispol'zovanie otechestvennyh fosforitov (na primere Egor'evskih) dlya polucheniya ekstrakcionnoj fosfornoj kisloty i fosforsoderzhashchih udobrenij. *Himicheskaya promyshlennost' segodnya*. 2010; 2:8-11.
5. Samedov M.M., Mamedova G.M., Dzhavadova S.G. Polucheniya fosforsoderzhashchih mineral'nyh udobrenij razlozheniem prirodnyh fosfatov sernoj kislotoj s primeneniem intensiviruyushchih dobavok. *Nauchnye izvestiya SGU, Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2020; 20(1):21-25.
6. Superfosfat. Perev. s angl. pod red. dokt. tekhn. nauk. prof. A.A. Sokolovskogo. M.: Himiya; 1979. 336 s.
7. Ahmetov N.S. Obshchaya i neorganicheskaya himiya. Ucheb. dlya vuzov. / 5-e izd., ispr. M.: Vysshaya shkola; 2003. 743 s.

8. Pozin M.E. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po tekhnologii neorganicheskikh veshchestv. L.: Himiya; 1988. 304 s.
9. Orekhov I.I., Vlasova T.L. Vliyanie sul'fat-ionov na mekhanizm vzaimodejstviya prirodnykh fosfatov s fosfornoj kislotoj. *Himicheskaya promyshlennost'*. 1985; 2:755–757.
10. Chepeleveckij M.L., Bruckus E.B. Superfosfat. Fiziko-himicheskie osnovy proizvodstva. M.: Goskhimizdat; 1968. 272 s.
11. Pozin M.E. Tekhnologiya mineral'nykh udobrenij. L.: Himiya; 1989. 352 s.
12. Kelbaliyev G.I., Samedli V.M., Samedov M.M. Kinetic Laws of the Granulation Process of Powdered Materials in Drum Granulators. *Russian Journal of Applied Chemistry. Germany*. 2015; 88(5):852–860.
13. Kelbaliyev G.I., Samedli V.M., Samedov M.M. Journal of Dispersion Science and Technology. London. 2011; 32(6):799–806.
14. Kel'man F.N., Bruckis E.B., Osherovich R.H. Metody analiza pri kontrole proizvodstva sernoj kisloty i fosfornyx udobrenij. M.: Himiya; 1985. 370 s.
15. Tekhnicheskij analiz i kontrol' v proizvodstve neorganicheskikh veshchestv. / Pod red. prof. N.S. Torocheshnikova. M.: Vysshaya shkola; 1986. 280 s.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

**Kelbaliyev Gudret Isfendiyar oglu**, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Corresponding Member. Azerbaijan National Academy of Sciences. Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after Academician M.F. Nagiyev, (A 1143, Baku, G.Javid Ave., 113), kudret.kelbaliyev@mail.ru

**Samedov Mukhtar Mammad oglu**, Scientific Secretary, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Sumgait State University, (AZ5008 Azerbaijan Republic, gor. Sumgait, 43rd quarter), samedov-muxtar@mail.ru  
**Mustafa-zadeh Jeyhun Musa oglu**, dissertation, Sumgait State University (SSU), (AZ5008 Azerbaijan Republic, gor. Sumgait, 43rd quarter), ceyhun1903.cm.92@gmail.com

**Aliyeva Saadat Gyaray kyzy**, head of the laboratory of the department "Chemistry and methods of its teaching", Sumgayit State University (SSU), (AZ5008 Republic of Azerbaijan, city. Sumgayit, 43rd quarter), sadet.aliyeva@inbox.ru

**Mammadova Gulnara Mustafa kyzy**, Associate Professor, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Azerbaijan State University of Oil and Industry, (AZ5008 Azerbaijan Republic, gor. Sumgait, 43rd quarter), Gulnure55@gmail.com

**Javadova Sadegul Hasan kyzy**, senior lecturer, Sumgait State University (SSU), AZ5008 Azerbaijan Republic, gor. Sumgait, 43rd quarter, kamal.cavadov.94@mail.ru

Contribution of the authors:

Kelbaliyev Gudret Isfendiyar oglu - development of mathematical dependence.

Samedov Mukhtar Mammad oglu - statement of the research problem.

Mustafa-zade Jeyhun Musa oglu - review of relevant literature, conceptualization of the study, conclusions, writing the text.

Aliyeva Saadat Gyaray kyzy - collection and analysis of data on the decomposition of raw materials.

Mammadova Gulnara Mustafa kyzy - scientific management.

Javadova Sadegul Hasan kyzy - collection and analysis of data on granulation of powdered material

All authors have read and approved the final manuscript.

