

ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ TECHNOLOGY OF INORGANIC SUBSTANCES

Научная статья

УДК 661.632.2:631.841.1

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-4-23-32

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СУПЕРФОСФАТА РАЗЛОЖЕНИЕМ ФТОРАПАТИТА СЕРНОЙ КИСЛОТОЙ В ПРИСУТСТВИИ ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

Самедов Мухтар Мамед оглы^{1*},
Мустафа-заде Джейхун Муса оглы¹,
Мамедова Гюльнура Мустафа кызы²,
Джавадова Садегюль Гасан кызы¹

¹Сумгаитский государственный университет

²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

*для корреспонденции: samedov-muxtar@mail.ru

Аннотация.

С целью получения фосфорного удобрения, обогащенного дополнительными питательными элементами, процесс разложения апатитового концентрата серной кислотой осуществляли с добавкой, в первом варианте – гидрофосфатом аммония, а во втором варианте – гидрофосфатами аммония и калия. Экспериментальными исследованиями изучено влияние добавок на процесс взаимодействия серной кислоты с фторапатитом, также рентгенофазовыми и ИК-спектроскопическими анализами изучен структурный состав полученного продукта. Установлено, что с применением добавок полученное фосфорное удобрение содержит наряду с дигидрофосфатом кальция также дигидрофосфат аммония. Отличительной особенностью является разложение фосфатов сернокислотного типа, в результате чего получается переходящий в твердую фазу малорастворимый сульфат кальция, который имеет следы присутствия в полученном удобрении, а также может не входить в состав раствора. При процессе разложения фторапатита серной кислотой с использованием добавочной части $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ оптимальным количеством добавочной части необходимо считать 12-18%-ную (от массы серной кислоты) добавку, при этом достигается наиболее высокая степень разложения апатитового концентрата, которая составляет 95-97%. Проведенные исследования установили, что введение добавки – гидрофосфатов аммония и калия – в процесс сернокислотного разложения апатитового концентрата также положительно влияет на продолжительность периода созревания суперфосфата. Для уточнения структурного состава готового продукта были проведены рентгенофазовые исследования и ИК-спектрометрический анализ порошкообразного продукта. Таким образом получены минеральные удобрения с применением добавок, имеющих в своем составе дополнительный питательный элемент, а именно азот в первом варианте и азот и калий во втором варианте.



Информация о статье

Поступила:

18 августа 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 августа 2022 г.

Принята к публикации:

31 августа 2022 г.

Ключевые слова:

фосфорные удобрения,
интенсифицирующие добавки,
разложение, фторапатит,
обогащение, гидрофосфаты
аммония и калия.

Для цитирования: Самедов М.М., Мустафа-заде Д.М., Мамедова Г.М., Джавадова С.Г. Исследование процесса получения суперфосфата разложением фторапатита серной кислотой в присутствии интенсифицирующих добавок // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 4 (152). С. 23-32. doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-23-32

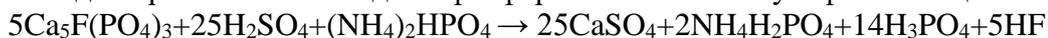
Введение

Общепринято, что разложение апатитового концентрата кислотами приводит к образованию фосфорной кислоты, а также соответствующих солей кальция. Данные фосфорные кислоты и соли кальция отличаются высокой растворимостью (примером служит растворение в азотной или соляной кислотах). В результате дальнейшая переработка данных полученных растворов в получении удобрений производится с помощью выделения и связывания некоторых частей кальция с целью исключения превращений в сфере химических реакций, в результате которого появляются неусвояемые, трудноусвояемые растения соединений фосфата. Отличительной чертой является разложение фосфатов сернокислотного типа, в результате которого получаем малорастворимый сульфат кальция, переходящий в твердую фазу, который имеет следы присутствия в полученном удобрении, а также может не входить в состав раствора [1-4].

Исследование процесса получения суперфосфата

Интенсификационный процесс при разложении природного фосфата серной кислотой включает в себя использование 40%-ного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ как добавки. Экспериментальные исследования осуществляли по известной методике [5].

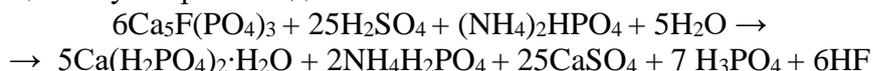
Выяснено, что разложение фторапатита серной кислотой с добавкой гидрофосфата аммония и без нее включает в себя два процесса [6]. Фторапатит и серная кислота имеют реагирование до образования свободной фосфорной кислоты и сульфата кальция:



Когда серная кислота полностью используется, появляется фосфорная кислота, которая вступает в реакцию с фторапатитом, образуя кальцийдигидрофосфат:



Полученный монокальцийфосфат держат сначала в растворе, в котором происходит процесс пересыщения – кристаллизации. Коэффициенты в уравнениях свидетельствуют о 70% реакции в первой стадии при наличии стехиометрических соотношений компонентов, а вторая стадия содержит только 30% фторапатита. Отсюда получаем уравнение реакции в суммарном виде:



Количество суперфосфата и сама степень разложения апатитового концентрата имеют изменения при добавлении гидрофосфата аммония, которые отражены в табл. 1.

Как видно из табл. 1., при использовании интенсифицирующей добавки гидрофосфата аммония процесс разложения фторапатита в суперфосфате при десятидневном дозревании увеличивается по времени. Так, с увеличением добавки до 18% от массы серной кислоты процесс разложения определяется до 96,04%. Данный показатель, повышая степень разложения, свидетельствует об использовании добавки $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ в системе с введением дополнительных ионов HPO_4^{2-} , имеющих высокое влияние на водородные ионы, которые положительно влияют на глубокое разложение апатитового концентрата [7-8].

При этом, если увеличить массу добавки на 22% и выше, процесс считается нецелесообразным и приводит к снижению степени разложения фторапатита в суперфосфате. Большое использование данной добавки приводит к появлению множества мелких кристаллов сульфата кальция, которые осаждаются на поверхности частиц апатита, тем самым являясь большим препятствием для диффузии кислоты к зернам апатита.

Таблица 1. Состав суперфосфата и степени разложения фторапатита в зависимости от количества добавки гидрофосфата аммония

Table 1. The composition of superphosphate and the degree of decomposition of fluorapatite depending on the amount of addition of ammonium hydrogen phosphate

Количество добавки $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ %, от массы H_2SO_4	Состав суперфосфата после десятисуточного дозревания, (масс. %)						Степень разложения, %
	$\text{P}_2\text{O}_{5\text{общ}}$	$\text{P}_2\text{O}_{5\text{усв}}$	$\text{P}_2\text{O}_{5\text{водн}}$	P_2O своб.	N	H_2O	
0	21,32	19,59	18,66	7,23	отс.	9,89	91,88
5	21,24	19,96	19,08	6,82	0,69	8,92	93,97
8	21,19	20,11	18,749	6,64	0,97	8,47	94,90
12	21,12	20,24	18,68	6,39	1,38	7,86	95,83
15	21,08	20,46	18,59	6,17	1,95	7,53	97,06
18	20,98	20,15	18,54	5,96	2,36	7,18	96,04
22	20,76	19,50	18,36	6,71	2,71	6,95	93,93
26	20,53	19,08	18,12	6,93	2,98	6,72	92,94

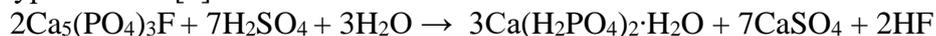
Таблица 2. Состав суперфосфата и степень разложения апатита в готовом продукте

Table 2. The composition of superphosphate and the degree of decomposition of apatite in the finished product

В зависимости от состава добавки								
№ опыта	Состав добавки, % масс.	Показатели суперфосфата, % масс.						Степень разложения, %
		$\text{P}_2\text{O}_{5\text{общ}}$	$\text{P}_2\text{O}_{5\text{усв}}$	$\text{P}_2\text{O}_{5\text{с}}$ воб.	N	K_2O	H_2O	
1	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - 8	21.18	19.70	6.68	0.39	0.34	8.05	93.01
	K_2HPO_4 - 2							
	H_2O - 90							
2	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - 12	20.83	19.59	6.40	0.61	0.70	7.83	94.05
	K_2CO_3 - 4							
	H_2O - 84							
3	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - 15	20.41	19.39	6.27	0.75	0.98	7.67	95.00
	K_2HPO_4 - 6							
	H_2O - 79							
4	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - 18	20.05	19.48	5.95	1.00	1.40	7.44	97.16
	K_2HPO_4 - 8							
	H_2O - 76							
5	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - 22	19.70	19.31	5.63	1.18	1.72	7.26	98.02
	K_2HPO_4 - 10							
	H_2O - 68							
6	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - 25	19.42	18.84	5.42	1.30	2.10	7.04	97.01
	K_2CO_3 - 12							
	H_2O - 63							
7	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - 28	18.86	17.90	5.38	1.42	2.38	6.85	94.91
	K_2HPO_4 - 14							
	H_2O - 58							
8	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - 30	18.54	17.40	5.33	1.56	2.70	6.71	93.85
	K_2HPO_4 - 16							
	H_2O - 54							

Анализ данных табл. 1. показывает, что количественный состав добавки, находящийся в интервальном отрезке 12-18% от массы серной кислоты, считается целесообразным, отличающаяся при этом высокой степенью разложения добавка при сумме питательных составляющих равна 21,62-22,51%.

Известно, что при получении суперфосфата обычным способом с учетом наличия примесей в исходном сырье состав серной кислоты имеет увеличение, если сравнивать необходимое количество связывания в природном фосфате кальция согласно суммарному уравнению [9]:



В предложенном же способе использование интенсифицирующей добавочной части гидрофосфата аммония позволяет получить наряду с кальцийдигидрофосфатом также и аммонийдигидрофосфат, который обогащает полученный продукт дополнительным питательным элементом – азотом.

В итоге при процессе разложения фторапатита серной кислотой с использованием добавочной части $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ оптимальным количеством добавочной части необходимо считать 12-18%-ную (от массы серной кислоты) добавку, при этом достигается наиболее высокая степень разложения апатитового концентрата, которая составляет 95-97%.

Далее исследовали влияние состава добавки на качественные показатели готового продукта и степень разложения апатитового концентрата. Полученные данные эксперимента представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, при низких концентрациях добавки (опыты 1-3) существенных изменений в составе полученного суперфосфата не происходит, но с увеличением концентрации добавки увеличивается степень разложения апатитового концентрата (опыты 4-6), и созданный продукт имеет добавки питательных элементов – азота и калия. Дальнейшее увеличение концентрации добавки (опыты 7-8) является нецелесообразным, т.к. при этом происходит некоторое снижение степени разложения сырья и уменьшение содержания $\text{P}_2\text{O}_{5\text{ув}}$ в готовом суперфосфате. Следовательно, оптимальным составом добавки следует считать % масс.: NH_4HSO_4 – 18-25; K_2CO_3 – 8-12; H_2O – 76-63.

Проведенными исследованиями установлено, что введение добавки – гидрофосфатов аммония и калия – в процесс сернокислотного разложения апатитового концентрата оказывает положительное влияние также на продолжительность срока дозревания суперфосфата.

В результате проведенных исследований установлено, что оптимальное значение количества добавки, равное 10-15% массы кислоты серы, сохраняется не только для свежеполученного камерного суперфосфата, но и для дальнейшего процесса его вызревания.

Предложенный метод получения суперфосфата, обогащенного добавками в виде питательных элементов, а именно, азота и калия, прошел опытные испытания на Сумгайтском суперфосфатном заводе.

В результате получено фосфорное удобрение с использованием добавочных элементов, которые содержат гидрофосфаты аммония и калия, по технологии это является целесообразным и легко осуществимым. При оптимальных количестве и составе добавки полученный продукт обладает хорошими физико-химическими свойствами, становится более рассыпчатым, пористым, устойчивым к механическим воздействиям с точки зрения тиксотропных свойств и обогащен добавочно питательными элементами – азотом (N – 1,0 – 1,3 % масс.) и калием (K_2O – 1,4 – 2,1 % масс.).

Для уточнения структурного состава готового продукта были проведены рентгенофазовые исследования и ИК-спектрометрический анализ порошкообразного продукта [10-12]. В качестве сравнения использовали образец суперфосфата,

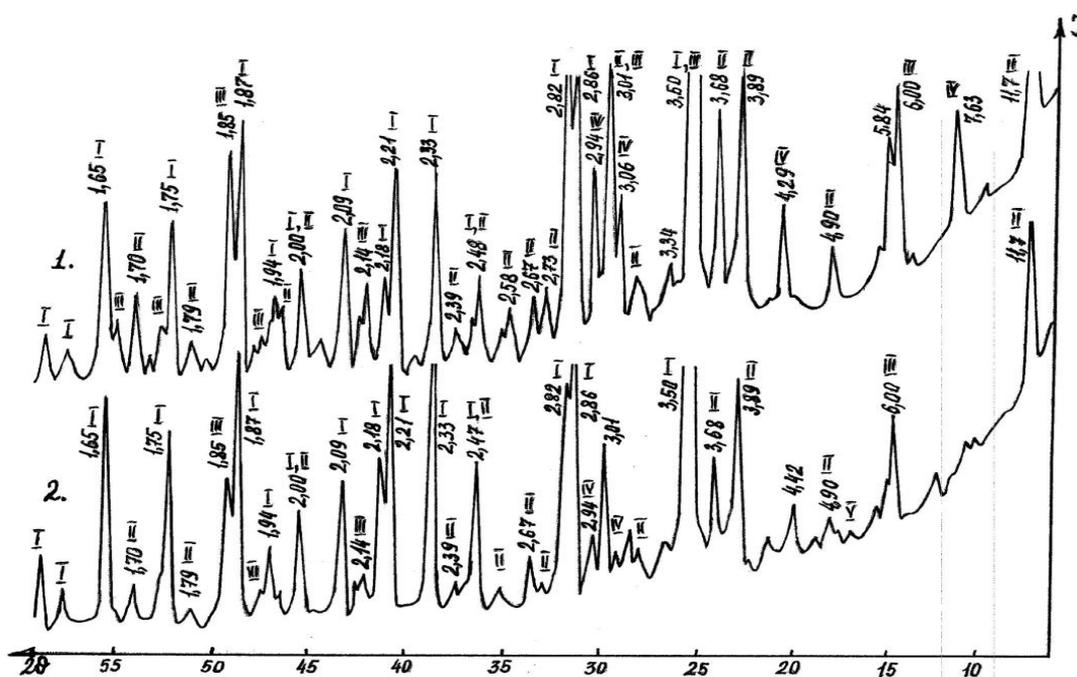


Рис. 1. Дифрактограммы простого суперфосфата (№ 1) и суперфосфата, полученного с 8%-ной (от массы серной кислоты) добавкой гидрофосфата аммония (№ 2):

I – CaSO_4 ; II – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; III – $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$; IV – $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; V – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

Fig. 1. Diffractograms of simple superphosphate (No. 1) and superphosphate obtained with an 8% (by weight of sulfuric acid) addition of ammonium hydrophosphate

I – CaSO_4 ; II – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; III – $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$; IV – $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; V – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

полученного обычным способом.

Рентгенограммы образцов суперфосфата сняты на дифрактометре ДРОН-3 при облучении CuK_α в Ni фильтре. При снятии дифрактограмм образцов суперфосфата скорость движения счетчика составляла 2 и 4 град/мин; точность отсчета по диаграмме $\pm 0,2$ мм; погрешность определения межплоскостных расстояний равнялась 1% [13-14].

Из дифрактограммы образцов суперфосфата следует, что в обычном суперфосфате в основном содержатся дигидрофосфат кальция и сульфат кальция с различной степенью гидратации (рис. 1, дифрактограмма № 1).

При 8%-ной от массы серной кислоты добавке гидрофосфата аммония существенных изменений в фазовом составе суперфосфата не наблюдается, за исключением появления новых полос дигидрофосфата аммония – V (см. рис. 1, дифрактограмма № 2). При 12- и 15- %-ной (от массы серной кислоты) добавке гидрофосфата аммония интенсивность полос дигидрофосфата аммония (V) увеличивается (рис. 2, дифрактограммы 3 и 4).

Для объяснения вещественно-структурных особенностей полученного продукта использован метод ИК-спектроскопии. ИК-спектры были сняты на спектрометре марки ИР-20.

На ИК-спектрограммах представлены спектры суперфосфата, полученного с 10- и 12%-ной добавкой раствора гидрофосфата аммония (рис. 3, спектры 1 и 2) и суперфосфата, полученного обычным способом, т.е. без добавки (рис. 1, спектр 3). На рис. 4 представлены спектры химически чистого дигидрофосфата аммония (рис. 4, спектр 2), дигидрофосфата кальция (рис. 4, спектр 1) и суперфосфата с 15%-ной добавкой (рис. 4, спектр 3). При сравнении спектров суперфосфата с добавкой гидрофосфата аммония и суперфосфата без

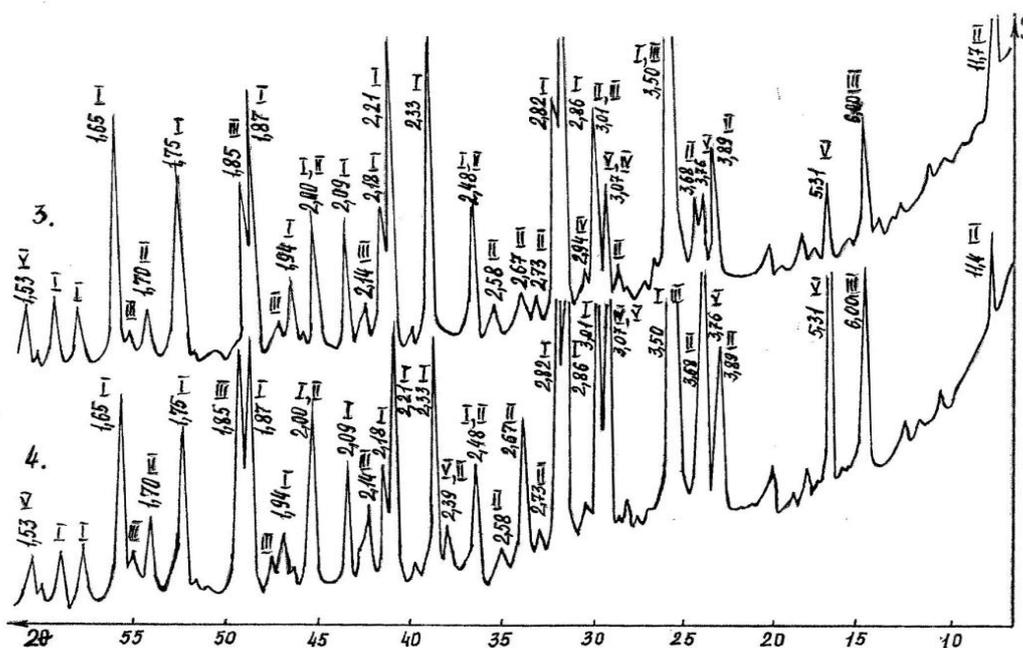


Рис. 2. Дифрактограммы образцов суперфосфата, полученного с 12- и 15 %-ной (от массы серной кислоты)

добавкой гидрофосфата аммония (соответственно № 3 и № 4):

I – CaSO_4 ; II – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; III – $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$; IV – $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; V – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

Fig. 2. Diffractograms of samples of superphosphate obtained with 12- and 15% (by weight of sulfuric acid) addition of ammonium hydrophosphate (No. 3 and No. 4, respectively):

I – CaSO_4 ; II – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; III – $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$; IV – $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; V – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

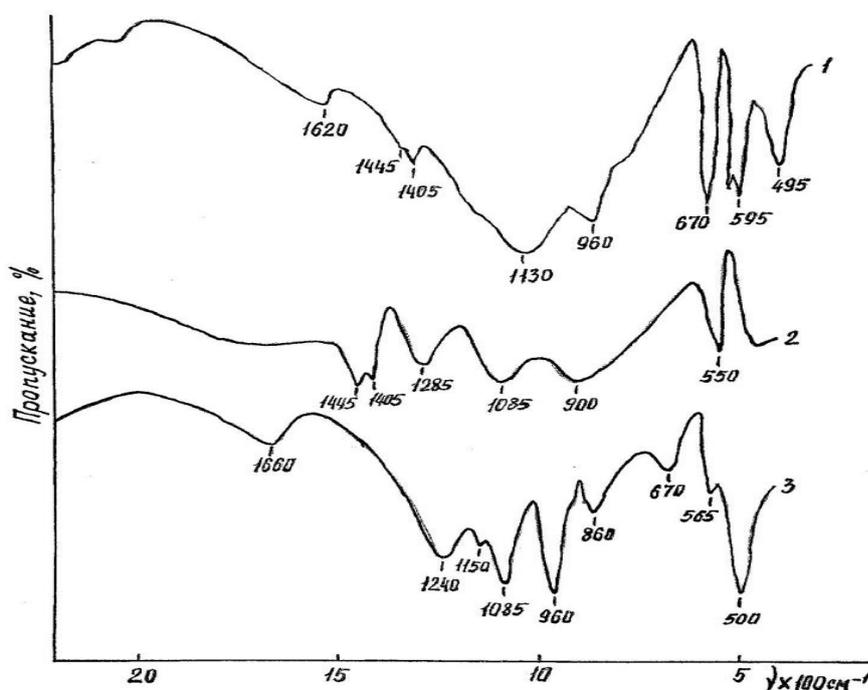


Рис. 3. ИК-спектры суперфосфата, полученного с добавкой (10% и 12% от массы серной

кислоты) гидрофосфата аммония (спектры 1 и 2) и суперфосфата без добавки (спектр 3)

Fig. 3. IR-spectra of superphosphate obtained with the addition (10% and 12% by weight of sulfuric acid) of ammonium hydrophosphate (spectra 1 and 2) and superphosphate without additive (spectrum 3)

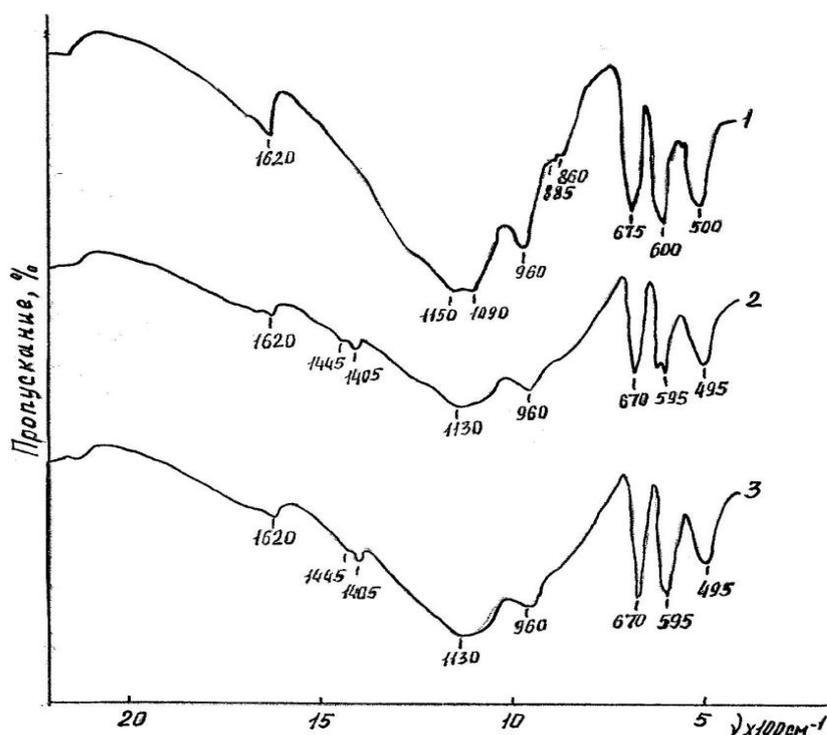


Рис. 4. ИК-спектры дигидрофосфата кальция (спектр 1), дигидрофосфата аммония (спектр 2) и суперфосфата, полученного с добавкой (15% согласно массы гидрофосфата аммония (с добавкой (15% согласно массы кислоты серы)

гидрофосфата аммония (спектр 3)
Fig. 4. IR-spectra of calcium dihydrophosphate (spectrum 1), ammonium dihydrophosphate (spectrum 2)

and superphosphate obtained with the addition (15% according to the mass of sulfur acid) of ammonium hydrophosphate (spectrum 3)

добавки видно, что появляются линии поглощения 1405 и 1445 см^{-1} , соответствующие NH_4^+ – иону и характерные для деформационных комбинаций, они не перекрываются другими полосами. Наличие данной полосы подтверждает присутствие дигидрофосфата аммония в исследуемом продукте.

Таким образом, результаты рентгенографических и ИК-спектроскопических исследований подтвердили, что при введении гидрофосфата аммония в процесс разложения апатита серной кислотой полученный суперфосфат наряду с кальций дигидрофосфатом содержит также и аммоний дигидрофосфат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позин М. Е. Технология минеральных солей. Ч.П. Л. : Химия, 1970. С. 828-880.
2. Самедов М. М. Исследование процесса получения суперфосфата с применением промышленных отходов Сумгаитского химического комплекса // Хим. пром. 2002. №6. С. 18-20.
3. Самедов М. М., Алосманов М. С., Рагимов Г. А. Дифференциально-термические исследования суперфосфата, полученного сернокислотным разложением фтороapatита в присутствии бисульфата аммония // Химическая промышленность сегодня. 2008. № 6. С. 25-28.
4. Пат. Азербайджанская Республика İ20050053. Бюл. №3, 25.04.2005.
5. Позин М. Е. Руководство к практическим занятиям по технологии неорганических веществ. Л. : «Химия», 1985. С. 301.
6. Чепелевецкий М. Л., Бруцкус Е. Б. Суперфосфат. Физико-химические основы производства. М. : Химия, 1978. 283 с.
7. Datin P. C., Wotthington E. A., Ponodriov G. Phosphorus pentoxide reversion of ammoniated superfosfate // Ind.Eng.chem. 1982, 44,4, p. 903-905.

8. Орехов И. И., Власова Т. Л. Влияние сульфат-иона на механизм взаимодействия природных фосфатов с фосфорной кислотой. Химическая промышленность. 1985. №2. С.755-757.
9. Позин М. Е. Технология минеральных удобрений. Л. : Химия, 1989. 352 с.
10. Атлас инфракрасных спектров фосфатов. Ортофосфаты. М. : Наука, 1981. С. 54.
11. Зиннок Р. Ю., Балыков А. Г., Гавриленко И. Б. и др. ИК-спектроскопия в неорганической технологии. Л. : Химия, 1983. С.158.
12. Кросс А. Введение в практическую инфракрасную спектроскопию. М. : Издат ин. лит., 1971. 106 с.
13. Кушкин Н. Комбинированный метод уточнения структуры по дифрактометрическим данным. М. : Кристаллография, 1988, Т. 33, № 22. С.331.
14. Ковба М. Рентгенография в неорганической химии. Уч. Пособие. М. : Изд. МГУ, 1991. 256 с.

© 2022 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:

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 (AZ5008 Азербайджанская Республика, гор. Сумгаит, 43-ий квартал), seyhun1903.cm92@gmail.com

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

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

Заявленный вклад авторов:

Самедов Мухтар Мамед оглы - постановка исследовательской задачи.

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

Мамедова Гюльнура Мустафа кызы - научный менеджмент.

Джавадова Садегюль Гасан кызы - сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF OBTAINING SUPERPHOSPHATE BY
DECOMPOSITION OF FLUORAPATITE WITH SULFURIC ACID IN THE
PRESENCE OF INTENSIFYING ADDITIVES**

**Mukhtar Mammad oglu Samedov¹,
Mustafa-zadeh Jeihun Musa oglu¹,
Mammadova Gulnara Mustafa kyzy²,
Javadova Sadegul Hasan kyzy¹**

¹Sumgait State University

²Azerbaijan State University of Petroleum and Industry

*for correspondence: samedov-muxtar@mail.ru

**Article info**

Submitted:

18 August 2022

Approved after reviewing:

30 August 2022

Accepted for publication:

31 August 2022

Keywords: phosphorus fertilizers, intensifying additives, decomposition, fluorapatite, enrichment, ammonium and potassium hydrophosphates

Abstract.

In order to obtain phosphorus fertilizer enriched with additional nutrients, the decomposition process of apatite concentrate with sulfuric acid was carried out with an additive, in the first variant – ammonium hydrophosphate, and in the second variant - ammonium and potassium hydrophosphates. Experimental studies involved the study of the effect of additives on the interaction of sulfuric acid with fluorapatite, as well as X-ray phase and IR spectroscopic analyses have studied the structural composition of the resulting product. It was found that with the use of additives, the resulting phosphorus fertilizer contains, along with calcium dihydrophosphate, also ammonium dihydrophosphate. A distinctive feature is the decomposition of sulfuric acid phosphates, resulting in a poorly soluble calcium sulfate that passes into the solid phase, which has traces of its presence in the resulting fertilizer, and may also not be part of the solution. The process of decomposition of fluorapatite with sulfuric acid using an additional part (NH₄)₂HPO₄, the optimal amount of the additional part should be considered 12-18% (by weight of sulfuric acid) additive, while the highest degree of decomposition of apatite concentrate is achieved, which is 95-97%. The conducted studies have established that the introduction of an additive - ammonium and potassium hydrophosphates - into the process of sulfuric acid decomposition of apatite concentrate also has a positive effect on the duration of the superphosphate maturation period. To clarify the structural composition of the finished product, X-ray phase studies and IR spectrometric analysis of the powdered product were carried out. Thus, mineral fertilizers were obtained with the use of additives having an additional nutrient element in their composition, namely nitrogen - in the first variant, and nitrogen and potassium - in the second variant.

For citation: Samedov M.M., Mustafa-zadeh J.M., Mammadova G.M., Javadova S.H. Investigation of the process of obtaining superphosphate by decomposition of fluorapatite with sulfuric acid in the presence of intensifying additives. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 4(152):23-32. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-23-32

REFERENCES

1. Pozin M.E. Tekhnologiya mineral'nyh solej. II. L.: Himiya; 1970.
2. Samedov M.M. Issledovanie processa polucheniya superfosfata s primeneniem promyshlennyh othodov Sumgait'skogo himicheskogo kompleksa. *Him. prom.* 2002; 6:18-20.
3. Samedov M.M., Alosmanov M.S., Ragimov G.A. Differencial'no-termicheskie issledovaniya superfosfata, poluchennogo sernokislotnym razlozheniem fluorapatita v prisutstvii bisulfata ammoniya. *Himicheskaya promyshlennost' segodnya.* 2008; 6:25-28.
4. Pat. Azerbajdzhanskaya Respublika İ20050053. Byul. №3, 25.04.2005.
5. Pozin M.E. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po tekhnologii neorganicheskikh veshchestv. L.: «Himiya»; 1985.
6. Chepeleveckij M.L., Bruckus E.B. Superfosfat. Fiziko-himicheskie osnovy proizvodstva. M.: Himiya; 1978.

7. Datin P.C., Wotthington E.A., Ponodriov G. Phosphorus pentoxide reversion of ammoniated superfosphate. *Ind. Eng. Chem.* 1982; 44(4):903-905.
8. Orekhov I.I., Vlasova T.L. Vliyanie sul'fat-ionov na mekhanizm vzaimodejstviya prirodnykh fosfatov s fosfornoj kislotoj. *Himicheskaya promyshlennost'*. 1985; 2:755-757.
9. Pozin M.E. *Tekhnologiya mineral'nykh udobrenij*. L.: Himiya; 1989.
10. Atlas infrakrasnykh spektrov fosfatov. Ortofosfaty. M.: Nauka; 1981.
11. Zinyuk R.Yu., Balykov A.G., Gavrilenko I.B. i dr. *IK-spektroskopiya v neorganicheskoj tekhnologii*. L.: Himiya; 1983.
12. Kross A. *Vvedenie v prakticheskuyu infrakrasnuyu spektroskopiyu*. M.: Izdat in. lit.; 1971.
13. Kushkin N. *Kombinirovannyj metod utochneniya struktury po difraktometricheskim dannym*. M.: Kristallografiya; 1988.
14. Kovba M. *Rentgenografiya v neorganicheskoj himii*. Uch. Posobie. M.: Izd. MGU; 1991.

© 2022 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:

Mukhtar Mammad oglu Samedov, Scientific Secretary Dr. Sc. in Engineering, Professor, Sumgait State University, (AZ5008 Azerbaijan Republic, gor. Sumgait, 43rd quarter), samedov-muxtar@mail.ru

Mustafa-zadeh Jeihun Musa oglu, dissertation student, Sumgait State University, (AZ5008 Azerbaijan Republic, gor. Sumgait, 43rd quarter), ceyhun1903.cm92@gmail.com

Mammadova Gulnara Mustafa kyzy, Associate Professor, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Azerbaijan State University of Petroleum and Industry, (AZ5008 Azerbaijan Republic, gor. Baku, 34 Azadlig Ave.), Gulnure55@gmail.com

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

Contribution of the authors:

Mukhtar Mammad oglu Samedov, research problem statement

Mustafa-zadeh Jeihun Musa oglu, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research, writing the text

Mammadova Gulnara Mustafa kyzy, scientific management

Javadova Sadegul Hasan kyzy, data collection; data analysis

All authors have read and approved the final manuscript.

