

**Г.М. Сейтмагзимова, Ж.С. Серикбаева\*, Е.Г. Куликов, Р.Р. Якубова, Б.С. Серикбаева**  
Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова,  
160012, Республика Казахстан, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5  
\*e-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru

## **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ НА КАЧЕСТВО СЛОЖНОГО NP(S) УДОБРЕНИЯ СУЛЬФОАММОФОС**

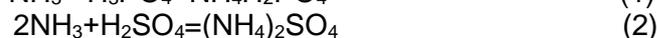
**Аннотация:** В статье приведены результаты исследования получения высокоэффективного сложного удобрения сульфоаммофос на основе экстракционной фосфорной кислоты различной концентрации. Данный продукт в Казахстане не производится; для его запуска на Заводе «Минеральные удобрения» требуется изучить влияние концентрации кислоты и содержания растворимых примесей на состав получаемого удобрения. Для идентификации полученных солей применяли стандартные химические и инструментальные методы анализа. Установлено, что при выпаривании экстракционной фосфорной кислоты в присутствии осадителей содержание фтора снижается в несколько раз. Наиболее интенсивно снижение содержания других примесей в кислоте происходит при введении кальцинированной соды за счет связывания их в виде нерастворимых осадков кремнефторида натрия и изоморфных комплексных соединений алюминия, железа и кальция. Аммонизацией обесфторенных растворов экстракционной фосфорной кислоты концентраций 25-31% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> получены образцы сульфоаммофоса, которые по содержанию серы и азота соответствуют требованиям стандарта, а по фосфору даже превышают нормативные значения. Изучено влияние концентрации экстракционной фосфорной кислоты на размер кристаллов и влажность сульфоаммофоса; определена оптимальная концентрация кислоты для получения продукта высокого качества. Сульфоаммофос, полученный на основе упаренной экстракционной фосфорной кислоты концентрации 25-26% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, является безбалластным концентрированным водорастворимым сложным NP(S) удобрением.

**Ключевые слова:** Экстракционная фосфорная кислота, сульфоаммофос, моноаммонийфосфат, сульфат аммония, водорастворимое удобрение, примеси.

### **Введение**

Одним из самых перспективных минеральных удобрений является сульфоаммофос, который относится к безбалластным, высококонцентрированным комплексным удобрениям, вносимым на любые типы почв под различные культуры. Это обуславливает стабильный спрос на данный продукт во всем мире. Известно, что использование сульфоаммофоса увеличивает урожайность зерновых на 10-15%, при этом существенно увеличивается содержание белка в зерне и масла в семечках, сое и рапсе [1]. Сульфоаммофос отличается легкостью внесения в почву как в качестве основного припосевного удобрения, так и для корневой и некорневой подкормки для разных видов сельскохозяйственных культур, а также включаться в состав тукосмеси как базовый компонент [1-3].

Основными компонентами сульфоаммофоса являются моноаммонийфосфат и сульфат аммония. В зависимости от состава сырья и технологии получения сульфоаммофос выпускают следующих марок: NP(S) 20:20(14); 18:18(16); 16:20(12); 14:40 (4). Сульфоаммофос сочетает в себе свойства аммонийных, фосфорных и серосодержащих удобрений, при этом обладает лучшим соотношением азота и фосфора, чем аммофос [1, 5]. Сульфоаммофос образуется при нейтрализации смеси фосфорной и серной кислот аммиаком, процесс описывается уравнениями реакций:



На сегодняшний день большинство методов производства фосфорсодержащих минеральных удобрений основано на использовании экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК), которая содержит ряд примесей, переходящих в нее при сернокислотном разложении фосфоритов. Примеси фтора, магния, кальция, силикатов и содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в ЭФК могут существенно повлиять на качество получаемого сульфоаммофоса.

Анализ публикаций выявил несколько способов получения сульфоаммофоса. Авторы патента [6] предлагают осуществлять нейтрализацию фосфорной и серной кислот аммиаком при отдельной подаче кислот с применением трубчатого реактора. В процессе получения используют ЭФК концентрации 32-40%  $P_2O_5$ . Известен способ получения сульфоаммофоса, отличающийся тем, что полученную после нейтрализации суспензию с вязкостью 18-35 мПа·с распыляют воздухом на стадии гранулирования и сушки [7]. Учеными [8-10] изучен процесс получения аммофоса и сульфоаммофоса с прочностью гранул не менее 2 МПа на основе ЭФК и мытого сухого концентрата фосфорита Кызылкум, содержащего 26%  $P_2O_5$ . Однако доля серной кислоты для образования сульфата аммония составляет всего 5,0-7,5% от доли ЭФК, следовательно, содержание серы и азота не превышает 8% в продукте, который является несбалансированным по основным питательным элементам.

Республика Казахстан занимает второе место среди стран Евразийского экономического союза по разведанным запасам фосфатного сырья, расположенного в фосфоритоносном бассейне Каратау. На единственном действующем в Казахстане предприятии по производству фосфорных удобрений, а именно на Заводе «Минеральные удобрения» реализуется производство ЭФК низкой концентрации, на основе которой получают сложное водорастворимое удобрение аммофос. На базе этого действующего производства компания планирует запустить линию по получению уникального продукта-сульфоаммофоса. Для его производства должна использоваться концентрированная фосфорная кислота, что в свою очередь требует выпаривания ЭФК до концентрации 40-50%  $P_2O_5$  [11,12]. Поэтому для осуществления проекта необходимо провести исследование влияния концентрации ЭФК и содержания растворимых примесей на состав получаемого продукта и его физико-химические свойства, данные о котором в опубликованных изданиях не выявлены.

#### **Методы исследования**

Для исследования в цехе ЭФК отобрана партия кислоты, полученной сернокислотным разложением фосфоритов месторождения Кистас бассейна Каратау. Анализ ЭФК на содержание  $P_2O_5$ , оксидов магния, кальция, железа, алюминия и сульфат-ионов проведен стандартными химическими методами, содержание примесей фторид-ионов измеряли потенциометрическим методом с помощью рН-метра/иономера ИТАН с фторселективным электродом с программным обеспечением. Суммарную стандартную неопределенность измерения и стандартное отклонение для анализов ЭФК рассчитывали по 3 параллельным измерениям пробы с учетом взвешивания пробы, калибровки и измерения на иономере и спектрометре.

Обесфторивание ЭФК осуществляли путем ввода в раствор осадителей сульфата натрия и кальцинированной соды. ЭФК упаривали в термостате путем постепенного уменьшения объема кислоты сначала на 25%, затем на 37,5, 50% и на 75%. Полученные растворы отфильтровывали от примесей и анализировали на содержание  $P_2O_5$  и всех примесных компонентов. Растворы аммонизировали аммиачной водой при включенной вытяжной вентиляции при температуре 80-90°C до рН=5,0-5,5, за счет экзотермичности температура суспензии поднималась до 100°C, при этом происходило испарение части воды. Затем вводили рассчитанное количество концентрированной серной кислоты и продолжали аммонизацию до достижения рН=5,5-6,0 с кристаллизацией аммонийных солей. Суспензию сульфоаммофоса высушивали при температуре 90°C. Идентификацию продукта осуществляли микроскопическим спектральным, рентгенографическим и ИК-спектроскопическим методами. Достоверность полученных результатов подтверждается применением для анализа дифрактометра D8 Advance (Bruker) с обработкой полученных данных дифрактограмм и расчетом межплоскостных расстояний с помощью программного обеспечения EVA, а также РЭМ JSM-6490.

#### **Результаты исследований и их обсуждение**

Первоначальный анализ экстракционной фосфорной кислоты показал присутствие в ее составе 0,21% мелкодисперсного нерастворимого остатка (н.о.), представляющего проскок твердой фазы в процессе фильтрования фосфорнокислотной суспензии. Рентгенографическим анализом н.о. идентифицировано наличие в составе 67,2% гидрофосфата железа, 25,9% кварцита и 6,9% алюмосиликата (рис. 1), что свидетельствует о потерях фосфора в результате экстракции природного фосфата.

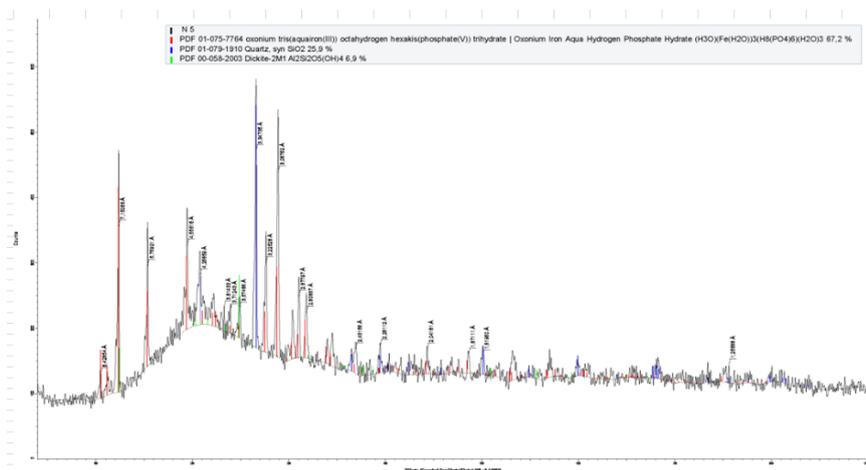


Рисунок 1 – Рентгенограмма нерастворимого остатка

Результаты исследования раствора ЭФК приведены в Таблице 1. Исходная ЭФК с концентрацией 19,37% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> является разбавленной кислотой, которая по мере упаривания постепенно концентрируется до 25-40% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. При этом возрастает плотность и вязкость растворов [13, 14]. Соотношение SO<sub>3</sub>:CaO=1,92 свидетельствует о сульфатном дигидратном режиме экстракции фосфорита [11].

ЭФК содержит растворимые примеси соединений кальция, магния, железа, алюминия, сульфат-ионов, а также фторид- и кремнефторид-ионов, которые при обесфторивании связываются в виде труднорастворимого осадка кремнефторида натрия. При этом в процессе выпаривания содержание фтора снижается в несколько раз, от 0,09 до 0,02%. Часть фтора связывается с ионами магния с образованием гелеобразного коллоидного раствора фторида магния, который по мере охлаждения становится вязким и теряет текучесть. Поэтому невозможно получить ЭФК концентрацией более 40%.

Таблица 1 – Изменение состава экстракционной фосфорной кислоты после упаривания

Содержание, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> своб	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
ЭФК	19,37	0,50	0,12	0,46	2,47	0,09	0,96
Степень упаривания, %	В присутствии осадителя Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>						
25	25,20	1,06	0,25	0,48	1,20	0,02	1,26
37,5	29,21	1,17	0,31	0,49	1,22	0,03	2,54
50	34,94	1,48	0,34	0,68	1,28	0,03	4,56
75	39,16	1,82	0,42	0,81	1,77	0,03	5,01
	В присутствии осадителя Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>						
25	25,99	0,43	0,099	0,47	1,35	0,02	1,01
37,5	29,61	0,47	0,12	0,49	1,35	0,03	2,04
50	31,25	0,99	0,23	0,54	1,37	0,04	2,72
75	39,33	1,13	0,26	0,70	1,54	0,04	3,52

Наиболее интенсивно связывание протекает при введении соды, за счет чего происходит снижение содержания CaO и MgO, несмотря на общую картину незначительного увеличения содержания примесей за счет концентрирования растворов. При введении сульфата натрия происходит возрастание содержания сульфат-ионов намного больше, чем при вводе соды. В связи с этим использование данного осадителя нецелесообразно ввиду также последующего ввода серной кислоты на стадии аммонизации. Существенное двукратное снижение содержания солей алюминия с 2,47 до 1,2-1,3% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> вызвано образованием нерастворимых трудноразрушаемых изоморфных комплексных соединений фосфатов алюминия, железа и кальция [15].

Все вышеотмеченные нерастворимые осадки, образующиеся при выпаривании растворов ЭФК, отделяются фильтрованием, что позволит при дальнейшей аммонизации кислот получить полностью водорастворимое удобрение высокого качества. На основании данных о выпаривании ЭФК до различной степени изучали аммонизацию полученных растворов фосфорной кислоты и их последующую сушку.

Результаты показали, что при сушке соли, полученной аммонизацией раствора концентрации 39% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, образуется вязкая масса, которую невозможно полностью высушить, в отличие от рассыпчатых солей, полученных на более разбавленных растворах (рис. 2). Поэтому ЭФК концентрации 39% и выше не может быть использована для получения сульфоаммофоса. Результаты аммонизации остальных очищенных содой растворов ЭФК с серной кислотой до pH=5,5-6,0 представлены в таблице 2. Качественный состав удобрений оценивается по содержанию основных питательных элементов (макроэлементов), необходимых для питания растений – азота и фосфора, а также дополнительного действующего вещества – серы.



Рисунок 2 – Внешний вид сульфоаммофоса, полученного из ЭФК концентрации: а – 19-35%, б – 39%

Таблица 2 – Содержание основных питательных элементов в сульфоаммофосе, полученном при аммонизации изучаемых растворов

№ образца	Концентрация ЭФК, % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Содержание в сульфоаммофосе, %			
		P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	S
1	19,37	7,53	17,25	18,27	19,06
2	25,99	10,09	23,11	17,81	16,15
3	29,61	14,86	34,03	15,31	11,31
4	31,25	11,72	26,84	14,96	12,85

Данный состав представлен на спектрограммах, полученных на РЭМ (рис. 3), и в таблице элементного анализа. Микро количества магния и алюминия находятся в удобрении в водорастворимой форме в пределах их растворимости и не снижают качества продукта. Пики кремния, железа и кальция представляют фоновый сигнал прибора, образующийся в результате интерференции.

Высокое содержание серы и азота и низкое значение фосфора в исходной ЭФК связано, очевидно, с высоким содержанием воды в растворе и вводом большего количества серной кислоты для обеспечения заданной кислотности. Остальные образцы представляют собой рассыпчатые соли белого цвета и по содержанию серы и азота практически соответствуют требованиям Технических условий СТ РК 2303-2022 для марок NP(S) 16:20(12) и NP(S) 18:18(16), а по фосфору в пересчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> даже превышают нормативные значения. Таким образом, полученные продукты представляют собой водорастворимые безбалластные концентрированные сложные удобрения.

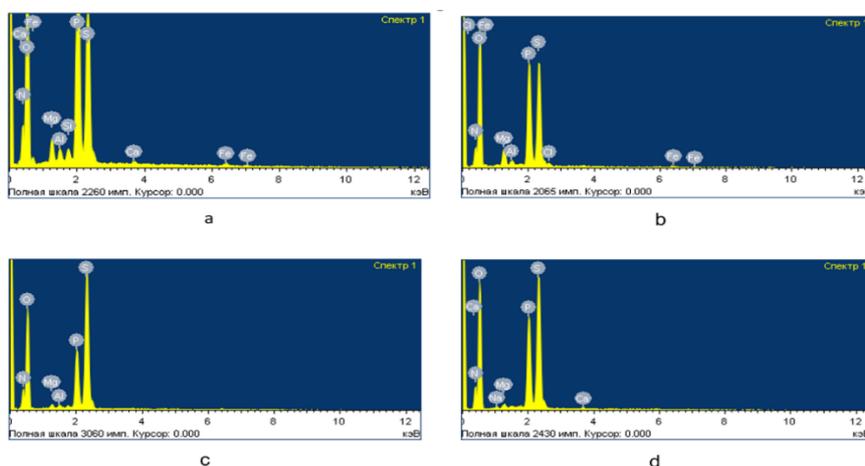


Рисунок 3 – Спектрограмма образцов сульфоаммофоса: а – 1, б – 2, с – 3, d – 4

Идентификация полученных солей образцов 2 и 3 ИК-спектральным анализом подтверждает химический состав (рис. 4). Одинаково широкая полоса поглощения в области 2835-3028  $\text{см}^{-1}$  характеризует колебания ассоциированных водородных связей, выделенных при аммонизации кислотного раствора, а полосы поглощения 925 и 1064  $\text{см}^{-1}$  обусловлены колебаниями фосфат-ионов и сульфат-ионов. Полосы поглощения с частотами колебаний 3220 и 1404  $\text{см}^{-1}$  определяют наличие в составе продукта иона аммония.

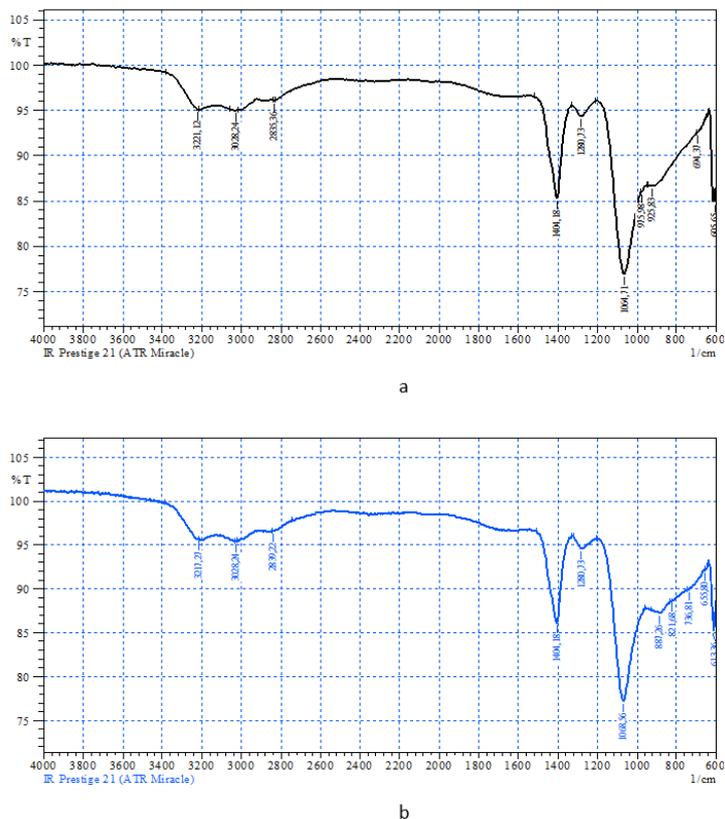


Рисунок 4 – ИК-спектры образцов сульфоаммофоса: а – 2, б – 3.

Еще одним важным показателем качества сульфоаммофоса согласно требованиям вышеуказанного стандарта является влажность продукта, которая не должна превышать 1%. В связи с этим определена влажность полученных солей, значение которой непосредственно зависит от размера кристаллов. Как известно, крупные кристаллы удерживают меньше влаги и поэтому легче отмываются, отфильтровываются и высушиваются [11]. Результаты, представленные на рисунке 5, свидетельствуют о том, что кристаллы наибольшего среднего размера 9,9 мкм получены в изученном интервале концентраций ЭФК при содержании в растворе 26%  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Минимальный средний размер 4,92 мкм имеют кристаллы, полученные на исходной кислоте (образец 1).

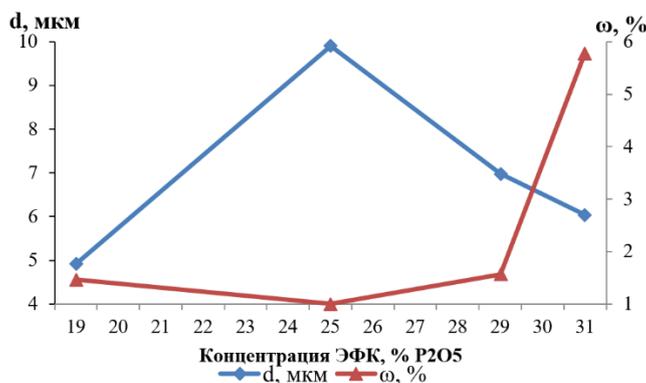


Рисунок 5 – Зависимость размера кристаллов и влажности сульфоаммофоса от концентрации раствора ЭФК

Зависимость влажности солей от концентрации кислоты проходит через минимум концентрации 26% и имеет значение 1%, соответствующее нормативному показателю. Зависимость показывает резкое увеличение влажности для соли, полученной с применением ЭФК, упаренной до концентрации 31%. На основании диаграммы можно сделать вывод, что для получения сульфаммофоса состава, соответствующего требованиям Технических условий СТ РК 2303-2022 Сульфаммофос из фосфоритов Каратау, следует применять экстракционную фосфорную кислоту оптимальной концентрации 25-26%  $P_2O_5$ .

Рентгенофазовый анализ 2 образца, полученного в оптимальных условиях, (рис. 6) подтверждает ранее установленный состав, включающий практически равные доли моноаммонийфосфата – 48,3% и сульфата аммония 51,7%.

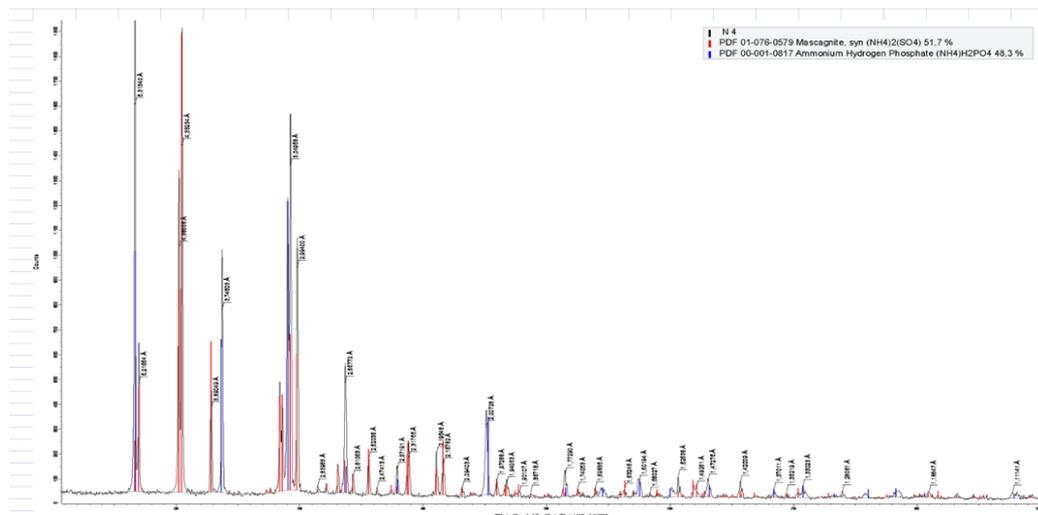


Рисунок 6 – Рентгенограмма сульфаммофоса, полученного в оптимальных условиях

Как видно на дифрактограмме, примеси в составе продукта отсутствуют. Соотношение  $NH_4H_2PO_4:(NH_4)_2SO_4$  составляет 1:1,07, соотношение  $N:P_2O_5=1:1,8$ . Общая сумма питательных веществ NP(S) в удобрении по данным РФА составляет 59,2%.

По данным элементного состава 2 образца (оптимальный режим) соотношение  $N:P_2O_5=1:1,3$ , а общая сумма питательных веществ NP(S) равна 57,07%. Установленный состав позволяет заключить, что сульфаммофос, полученный на основе упаренной ЭФК концентрации 25-26%  $P_2O_5$ , является концентрированным водорастворимым NP(S) удобрением, соответствующим требованиям Технических условий на данный продукт, не содержащим нерастворимых примесей и обладающим лучшим соотношением азота и фосфора, чем аммофос [2, 5].

### Заключение

Исследованием влияния концентрации экстракционной фосфорной кислоты и содержания растворимых примесей на состав и качество получаемого продукта установлено, что при выпаривании ЭФК в присутствии осадителей содержание фтора снижается в несколько раз. Наиболее интенсивно снижение содержания других примесей в кислоте происходит при введении кальцинированной соды за счет связывания их в виде нерастворимых осадков кремнефторида натрия и изоморфных комплексных соединений алюминия, железа и кальция.

В результате аммонизации обесфторенных содой растворов ЭФК концентраций 25-31%  $P_2O_5$  получены образцы сульфаммофоса, которые по содержанию серы и азота практически соответствуют требованиям Технических условий СТ РК 2303-2022 [2] для марок NP(S) 16:20(12) и NP(S) 18:18(16), а по фосфору даже превышают нормативные значения. Исследованием влияния концентрации ЭФК на размер кристаллов и влажность сульфаммофоса установлена оптимальная концентрация кислоты 25-26%  $P_2O_5$  для получения продукта высокого качества. Сульфаммофос, полученный на основе упаренной ЭФК концентрации 25-26%  $P_2O_5$ , является концентрированным водорастворимым сложным NP(S) удобрением, не содержащим нерастворимых примесей.

### Список литературы

1. Григоровская П.И. Серосодержащие удобрения [Электрон. ресурс]. – 2014. – URL: [https://www.pesticity.ru/group\\_fertilizers/sulfur\\_fertilizer](https://www.pesticity.ru/group_fertilizers/sulfur_fertilizer) (дата обращения: 03.03.2025).
2. СТ РК 2303-2022 Сульфоаммофос из фосфоритов Каратау. Технические условия.
3. Украинская Агропромышленная группа. Сульфоаммофос [Электрон. ресурс]. URL: <https://uarg.ua/ru/blog/sulfoammofos> (дата обращения: 08.03.2025).
4. Пат. RU 2407727C1 Российская Федерация, МПК C05G 1/06 (2006.01). Способ получения сульфоаммофоса / Т.В. Шарипов, А.Г. Мустафин, П.Н. Володин, Р.Т. Усманов; патентообладатель Т.В. Шарипов, А.Г. Мустафин. – заявл. 2009.03.31; опубл. 2010.12.27, Бюл. № 36.
5. СТ РК 3827-2022 Аммофос плюс. Технические условия.
6. Пат. RU 2408564C1 Российская Федерация, МПК C05G 1/06(2006.01). Способ получения удобрения, содержащего азот, фосфор и серу / Л.В. Ракчеева и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Воскресенские минеральные удобрения». – заявл. 2009.04.30; опубл. 2011.01.10, Бюл. № 1.
7. Пат. RU 2396236C2 Российская Федерация, МПК C05G 1/06 (2006.01). Способ получения сульфоаммофоса / В.В. Давыденко, М.М. Ахметшин, И.Г. Гришаев, А.Я. Сырченков; заявитель и патентообладатель ОАО «Научноисследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам им. профессора Я.В. Самойлова». – заявл. 2008.10.29; опубл. 2010.08.10, Бюл. № 22.
8. Obtaining ammophosphate and sulfoammophosphate fertilizers on base of the washed dry concentrate containing 26% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / A.A. Rasulov et al // E3S Web of Conferences. IV International Conference on Geotechnology, Mining and Rational Use of Natural Resources. – 2024. – Vol. 525, 02015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452502015>.
9. Processing of a washed dry concentrate containing 26% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> into ammophosphate, sulpho- and nitroammophosphate fertilizers / A.A. Rasulov et al // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2024. – № 3. – P. 521-529.
10. Obtaining ammophosphate from ordinary flour of thermoconcentrate of phosphorites of Central Kyzylkum using sulfuric acid additive / T.A. Sattarov et al // Chemical industry. – 2024. – № 2. – P. 57-61.
11. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений. Учебник для вузов / М.Е. Позин. – Л.: Химия, 1989. – 352 с.
12. Технология минеральных удобрений / И.А. Петропавловский и др. – Санкт-Петербург: Проспект науки, 2018. – 312 с.
13. Свойства неорганических соединений: справочник / А.И. Ефимов и др. – Л.: Химия, 1983. – 392 с.
14. Мельник Б.Д. Краткий инженерный справочник по технологии неорганических веществ / Б.Д. Мельник, Е.Б. Мельников. – М.: Химия, 1968.
15. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты / Б.А. Копылев. – Л.: Химия, 1981. – 224 с.

### References

1. Grigorovskaya P.I. Serosoderzhashchie udobreniya [Ehlektron. resurs]. – 2014. – URL: [https://www.pesticity.ru/group\\_fertilizers/sulfur\\_fertilizer](https://www.pesticity.ru/group_fertilizers/sulfur_fertilizer) (data obrashcheniya: 03.03.2025). (In Russian).
2. ST RK 2303-2022 Sul'foammofos iz fosforitov Karatau. Tekhnicheskie usloviya. (In Russian).
3. Ukrainskaya Agropromyshlennaya gruppya. Sul'foammofos [Ehlektron. resurs]. URL: <https://uarg.ua/ru/blog/sulfoammofos> (data obrashcheniya: 08.03.2025). (In Russian).
4. Pat. RU 2407727C1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C05G 1/06 (2006.01). Sposob polucheniya sul'foammofosa / T.V. Sharipov, A.G. Mustafin, P.N. Volodin, R.T. Usmanov; patentoobladatel' T.V. Sharipov, A.G. Mustafin. – zayavl. 2009.03.31; opubl. 2010.12.27, Byul. № 36. (In Russian).
5. ST RK 3827-2022 Ammofos plyus. Tekhnicheskie usloviya. (In Russian).
6. Pat. RU 2408564S1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C05G 1/06(2006.01). Sposob polucheniya udobreniya, soderzhashchego azot, fosfor i seru / L.V. Rakcheeva i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' ОАО «Voskresenskie mineral'nye udobreniya». – zayavl. 2009.04.30; opubl. 2011.01.10, Byul. № 1. (In Russian).
7. Pat. RU 2396236C2 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C05G 1/06 (2006.01). Sposob polucheniya sul'foammofosa / V.V. Davydenko, M.M. Akhmetshin, I.G. Grishaev, A.YA. Syrchenkov; zayavitel' i

- patentobladatel' OAO «Nauchnoissledovatel'skii institut po udobreniyam i insektofungitsidam im. professora YA.V. SamoilovA». – zayavl. 2008.10.29; opubl. 2010.08.10, Byul. № 22. (In Russian).
8. Obtaining ammophosphate and sulfoammophosphate fertilizers on base of the washed dry concentrate containing 26% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / A.A. Rasulov et al // E3S Web of Conferences. IV International Conference on Geotechnology, Mining and Rational Use of Natural Resources. – 2024. – Vol. 525, 02015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452502015>. (In English).
  9. Processing of a washed dry concentrate containing 26% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> into ammophosphate, sulpho- and nitroammophosphate fertilizers / A.A. Rasulov et al // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2024. – № 3. – P. 521-529. (In English).
  10. Obtaining ammophosphate from ordinary flour of thermoconcentrate of phosphorites of Central Kyzylkum using sulfuric acid additive / T.A. Sattarov et al // Chemical industry. – 2024. – № 2. – P. 57- 61. (In English).
  11. Pozin M.E. Tekhnologiya mineral'nykh udobrenii. Uchebnik dlya vuzov / M.E. Pozin. – L.: Khimiya, 1989. – 352 s. (In Russian).
  12. Tekhnologiya mineral'nykh udobrenii / I.A. Petropavlovskii i dr. – Sankt-Peterburg: Prospekt nauki, 2018. – 312 s. (In Russian).
  13. Svoistva neorganicheskikh soedinenii: spravochnik / A.I. Efimov i dr. – L.: Khimiya, 1983. – 392 s. (In Russian).
  14. Mel'nik B.D. Kratkii inzhenernyi spravochnik po tekhnologii neorganicheskikh veshchestv / B.D. Mel'nik, E.B. Mel'nikov. – M.: Khimiya, 1968. (In Russian).
  15. Kopylev B.A. Tekhnologiya ehkstraktsionnoi fosfornoj kisloty / B.A. Kopylev. – L.: Khimiya, 1981. – 224 s. (In Russian).

**Г.М. Сейтмагзимова, Ж.С. Серікбаева\*, Е.Г. Куликов, Р.Р. Якубова, Б.С. Серікбаева**  
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,  
160012, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тауке-хан даңғылы, 5  
\*e-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru

#### **ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ ФОСФОР ҚЫШҚЫЛЫ ҚҰРАМЫНЫҢ КҮРДЕЛІ NP(S) ТЫҢАЙТҚЫШ – СУЛЬФОАММОФОСТЫҢ САПАСЫНА ӘСЕРІ**

*Мақалада әртүрлі концентрациядағы экстракциялық фосфор қышқылына негізделген жоғары тиімді күрделі сульфоаммофос тыңайтқышын алу бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Бұл өнім Қазақстанда өндірілмейді; оны «Минералды тыңайтқыштар» зауытында іске қосу үшін алынған тыңайтқыштың құрамына қышқыл концентрациясы мен еритін қоспалардың әсерін зерттеу қажет. Алынған тұздарды анықтау үшін стандартты химиялық және аспаптық талдау әдістері қолданылды. Тұндырғыштардың қатысуымен экстракциялық фосфор қышқылын буландыру кезінде фтордың мөлшері бірнеше есе азаятыны анықталды. Қышқылдағы басқа қоспалар құрамының неғұрлым қарқынды төмендеуі натрий кремнийфторидінің ерімейтін тұнбалары және алюминий, темір және кальцийдің изоморфты күрделі қосылыстары түрінде байланыстыру арқылы сода күлі енгізілген кезде пайда болады. Концентрациясы 25-31% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> экстракциялық фосфор қышқылының фторсыздандырылған ерітінділерін аммонизациялау арқылы күкірт пен азот мөлшері бойынша стандарт талаптарына сәйкес, ал фосфор бойынша тіпті стандартты мандерден асып түсетін сульфоаммофос үлгілері алынды. Экстракциялық фосфор қышқылының концентрациясының кристалл мөлшері мен сульфоаммофос ылғалдылығына әсері зерттелді; жоғары сапалы өнім алу үшін қышқылдың оңтайлы концентрациясы анықталды. 25-26% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> концентрациясындағы буланған экстракциялық фосфор қышқылынан алынған Сульфоаммофос – балластсыз, суда еритін концентрлі күрделі NP(S) тыңайтқышы болып табылады.*

**Түйін сөздер:** экстракциялық фосфор қышқылы, сульфоаммофос, моноаммоний фосфаты, аммоний сульфаты, суда еритін тыңайтқыш, қоспалар.

**G. Seitmagzimova, Zh. Serikbayeva\*, Ye. Kulikov, R. Yakubova, B. Serikbaeva**  
M. Auezov South Kazakhstan University,  
160012, Republic of Kazakhstan, Shymkent, Tauke khan, 5  
\*e-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru

#### **INFLUENCE OF WET-PROCESS PHOSPHORIC ACID COMPOSITION ON THE QUALITY OF COMPLEX NP(S) FERTILIZER SULPHOAMMOPHOS**

*The article presents the research results on obtaining the highly effective complex fertilizer sulfoammophos based on wet-process phosphoric acid of various concentrations. This product is not*

produced in Kazakhstan; to launch it at the Mineral Fertilizers Plant, it is necessary to study the effect of acid concentration and soluble impurity content on obtained fertilizer composition. Standard chemical and instrumental methods of analysis were used to identify the obtained salts. It was found that when evaporating wet-process phosphoric acid in precipitator presence the fluorine content decreases several times. The most intensive reduction in content of other impurities in the acid occurs with soda ash introduction due to their binding in the form of insoluble precipitates of sodium silica fluoride and isomorphous complex compounds of aluminum, iron and calcium. By ammonization of defluorinated wet-process phosphoric acid solutions of concentrations of 25-31% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sulfoammophos samples were obtained that meet the standard requirements in terms of sulfur and nitrogen content, and even exceed the standard values in terms of phosphorus. The effect of wet-process phosphoric acid concentration on the crystal size and moisture content of sulfoammophos was studied; the optimal acid concentration for obtaining a high-quality product was determined. Sulfoammophos obtained on the basis of evaporated wet-process phosphoric acid of concentration of 25-26% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> is ballast-free concentrated water-soluble complex NP(S) fertilizer.

**Key words:** Wet-process phosphoric acid, sulfoammophos, monoammonium phosphate, ammonium sulfate, water-soluble fertilizer, impurities.

#### Сведения об авторах

**Галина Мануиловна Сейтмагзимова** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств»; Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: galinaseit@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2357-626X>.

**Журсинай Садуехасқызы Серикбаева\*** – магистрант кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств»; Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru.

**Евгений Геннадиевич Куликов** – магистр, специалист ВУК-инженер Испытательной региональной лаборатории инженерного профиля «Конструкционные и биохимические материалы», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: keg.1988@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2144-5065>.

**Раиса Ривкатовна Якубова** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств»; Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: yarr-57@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1813-1933>.

**Багдагуль Садуэхасовна Серикбаева** – PhD доктор, преподаватель кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств», Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: sbagdash@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4408-7967>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Галина Мануиловна Сейтмагзимова** – техника ғылымдарының кандидаты, «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры; М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: galinaseit@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2357-626X>.

**Жүрсинай Сәдуехасқызы Серікбаева\*** – «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының магистранты; М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; \*e-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru.

**Евгений Геннадиевич Куликов** – магистр, «Конструкциялық және биохимиялық материалдар» инженерлік бейіндегі сынақ өңірлік зертхана инженері, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: keg.1988@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2144-5065>.

**Раиса Ривкатовна Якубова** – техника ғылымдарының кандидаты, «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының доценті; М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: yarr-57@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1813-1933>.

**Багдагуль Садуэхасовна Серікбаева** – PhD доктор, «Бейорганикалық және мұнай-химия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының оқытушысы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: sbagdash@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4408-7967>.

#### Information about the authors

**Galina Manuilovna Seitmagzimova** – Candidate of technical science, professor of «Technology of inorganic and petrochemical productions» department; M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: galinaseit@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2357-626X>.

**Zhursinay Saduakhaskyzy Serikbayeva\*** – master student of «Technology of inorganic and petrochemical productions» department; M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: Zhursinay.Serikbaeva@mail.ru.

**Yevgeny Gennadievich Kulikov** – master, Engineer of Regional testing laboratory for engineering «Construction and biochemical materials», M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: keg.1988@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2144-5065>.

**Raissa Ruvkatovna Yakubova** – Candidate of technical science, Associate Professor of «Technology of inorganic and petrochemical productions» department; M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: yarr-57@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1813-1933>.

**Bagdagul Saduekhasovna Serikbaeva** – PhD Doctor, instructor of «Technology of inorganic and petrochemical productions» department, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent; e-mail: sbagdash@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4408-7967>.

Поступила в редакцию 08.01.2025

Поступила после доработки 04.04.2025

Принята к публикации 07.04.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-60](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-60)

MPHTI: 35.15.19



**М. Әліпұлы<sup>1\*</sup>, Н.Н. Нұрғалиев<sup>2</sup>, Қ. Асқарұлы<sup>1</sup>, Mohammad Khalid<sup>3</sup>, С. Азат<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Satbayev Univeristy,

050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

<sup>2</sup>Шәкәрім университет,

071410, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>3</sup>Университет Глазго,

G12 8QQ, Великобритания, Глазго, пр. Университет

\*e-mail: mukhtaralipuly@gmail.com

## **МАТЕРИАЛЫ МХЕНЕ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА, ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ПОКРЫТИЙ И КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Аннотация:** *Статья представляет обзор современных методов синтеза МХене – двумерных материалов, включающих карбиды, нитриды и карбонитриды переходных металлов, с акцентом на экологически безопасные подходы и их перспективы в качестве покрытий и композитов. Рассматриваются традиционные методы травления с использованием фторидов, таких как плавиковая кислота, и их недостатки, включая экологические риски. В противовес им описаны «зеленые» технологии, такие как электрохимическое травление и методы с расплавленными солями, которые минимизируют воздействие на окружающую среду и повышают масштабируемость производства. Особое внимание уделено уникальным свойствам МХене: высокой электропроводности, механической гибкости и гидрофильности, что делает их востребованными в энергетике, электронике и экологии. В статье подчеркивается их потенциал в антикоррозионных, антибактериальных покрытиях, защите от электромагнитных помех и сенсорных системах. Также обсуждаются возможности применения МХене в Казахстане, включая использование местного сырья для производства суперконденсаторов, биомедицинских материалов и катализаторов для аэрокосмической отрасли. Экономическая эффективность локального синтеза подчеркивает перспективы для развития высокотехнологичных отраслей. Работа направлена на освещение текущих достижений и вдохновение на дальнейшие исследования в области устойчивого материаловедения, демонстрируя, как МХене могут способствовать инновациям, сочетая функциональность с экологической ответственностью.*

**Ключевые слова:** *МХене, покрытия, композиты, антикоррозионные свойства, антибактериальные свойства*

### **Введение**

Материалы на основе карбидов, нитридов и карбонитридов переходных металлов, известные как МХенес, представляют собой активно развивающееся направление в области двумерных материалов [1]. Они вызвали большой интерес у научного сообщества за счёт своей оригинальной структуры и выдающихся физико-химических характеристик [2]. Как правило, МХенес получают методом селективного травления карбидов алюминия