



<https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i09.088>

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ТЕРМИЧЕСКОГО КОНЦЕНТРАТА ФОСФОРИТОВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМОВ

Бахриддинов Нуриддин Садриддинович

Наманганский государственный технический университет,
соискатель DSc, кандидат технических наук, доцент;

Шеркузиев Дониёр Шермаматович

Наманганский государственный технический университет,
доктор технических наук, профессор;

Абдухакимов Тальатжон Тохиржон угли

Наманганский государственный технический университет,
PhD, доцент;

Абдурахимов Абдулазиз Абдусамад угли

63-общеобразовательная школа, относящаяся к отделу
дошкольного и школьного образования
Чустского района, учитель высшей категории.

Аннотация. В статье приведены основная технология и расчетные работы по производству фосфорной кислоты, необходимой для промышленности комплексных фосфорных удобрений, которые играют важную роль в обеспечении продовольственной безопасности в нашей стране на современном этапе. Главным сырьевым источником фосфора для нашей республики являются фосфориты Центрального Кызылкума, однако их сравнительно низкое содержание фосфора создает препятствия для развития промышленности фосфорных удобрений. Для получения фосфорного удобрения экстракционная фосфорная кислота подвергается концентрированию, после чего получается качественное удобрение с высокой концентрацией. При этом для серной кислоты выбирается 100–101% стехиометрическая норма, температура 70, 80 и 90 °C, концентрация разбавляющего раствора — 15,45% P_2O_5 , Т:Ж = 1:2,5 (или Ж:Т = 2,5:1). В статье подробно освещены технология концентрирования, его кинетика, а также выделение в виде осадка примесных веществ и элементов, препятствующих текучести экстракционной фосфорной кислоты начиная с концентрации P_2O_5 в 40% в период концентрирования. Кроме того, полностью приведены состав веществ в полученной экстракционной фосфорной кислоте и ее физико-химические свойства.

Ключевые слова: фосфорит, экстракция, минеральное удобрение, выпаривание, примесное вещество, элемент, норма кислоты, фосфорное удобрение, электропроводность, вязкость, плотность, термообработка, испарение, фильтрация, фосфогипс, кристалл, коэффициент вымывания (или коэффициент отмывки), степень разложения.

Abstract. The article presents the core technology and calculation procedures for the production of phosphoric acid, which is essential for the complex phosphate fertilizer industry—a sector of vital importance for ensuring food security in our country at the present stage. The primary raw material source of phosphorus for our republic consists of Central Kyzylkum phosphorites; however, their relatively low phosphorus content creates obstacles to the development of the phosphate fertilizer industry. To obtain phosphate fertilizer, extraction phosphoric acid (EPA) is subjected to concentration, yielding a high-quality fertilizer with a high concentration. In this process, a 100–101% stoichiometric norm for sulfuric acid, temperatures of 70, 80, and 90 °C, a diluting solution concentration of 15.45% P_2O_5 , and a liquid-to-solid ratio (L:S) of 2.5:1 are selected. The paper details the concentration technology, its kinetics, and the precipitation of impurity substances and elements that hinder the fluidity of extraction phosphoric acid when the P_2O_5 concentration reaches 40% and above during the concentration period. Furthermore, the material composition of the obtained extraction phosphoric acid and its physicochemical properties are comprehensively presented.

Keywords: phosphorite, extraction, mineral fertilizer, evaporation, impurity substance, element, acid norm (or acid rate), phosphate fertilizer, electrical conductivity, viscosity, density, heat treatment, vaporization, filtration, phosphogypsum, crystal, leaching coefficient (or washing coefficient), degree of decomposition.

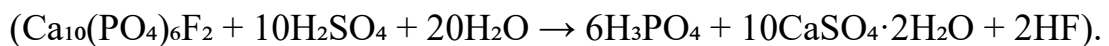
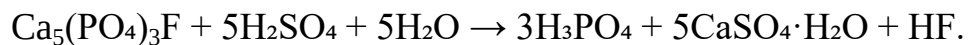
Аннотация. Мақолада ҳозирги кунда мамлакатимизда озиқ-овқат хавфсизлигининг олдини олишда муҳим ҳисобланган минерал ўғитлар орасида фосфорли комплекс ўғитлар саноати учун зарур бўлган фосфат кислота ишлаб чиқаришдаги асосий технология ва ундаги ҳисоблаш ишлари келтирилган. Энг асосийси юртимиз учун фосфор хомашёси Марказий Қизилқум фосфоритлари ҳисобланиб, унинг фосфорга нисбатан камбағаллиги туфайли фосфорли ўғит саноати ривожига тўсқинлик юзага келади. Фосфорли ўғит олиш учун экстракцион фосфат кислотани олиб, концентрациясини ошириб, ундан сўнг сифатли, концентрацияси юқори бўлган ўғит олинади. Ўша олинган ЭФК ни сульфат кислота учун 100 – 101 %, стехиометрик меёрда, ҳарорат 70, 80 ва 90 °C, суюлтирувчи эритма концентрацияси – 15,45 P_2O_5 , Ж:Т=2,5:1 танланиб, концентрлаш технологияси, концентрлаш учун унинг кинетикаси, концентрлаш даврида ЭФКнинг P_2O_5 концентрацияси 40% дан бошлаб унинг таркибидаги қўшимча модда ва элементлар унинг оқувчанлигига қаршилиқ кўрсатганлиги учун чўкма сифатида уларни ажратиб олиш кабилар тўлиқ кўрсатиб берилган. Булардан ташқари олинган ЭФК таркибидаги моддалар таркиби, ЭФКнинг физик-кимёвий хоссалари тўлиқ берилган.

Калит сўзлар: фосфорит, экстракция, минерал ўғит, буғлатиш, қўшимча модда, элемент, кислота меъёри, фосфорли ўғит, электр ўтказувчанлик, қовушоқлик, зичлик,

термик ишлов бериш, итспарения, фильтрация, фосфогипс, кристалл, ювилиш коэффиценти, парчаланиш даражаси.

Введение. Немногочисленные исследования в области переработки фосфоритов Центральных Кызылкумов (ЦК) сернокислотным методом в экстракционную фосфорную кислоту, анализ которых приведен в работе [1-4], носят отрывочный характер и недостаточны для установления влияния технологических параметров на показатели процесса экстракции, фильтрации фосфогипсовой суспензии, микрогранулометрическую характеристику кристаллов сульфата кальция, качество получаемой ЭФК. Совершенно отсутствуют данные о возможности упаривания дигидратной ЭФК до концентрированных растворов, их физико-химических свойствах, путях их переработки в твердые и жидкие фосфорные и полифосфорные удобрения [6, 7].

Наиболее распространённым промышленным способом получения фосфорной кислоты является экстракционный метод, основанный на взаимодействии измельчённого фосфорита с серной кислотой. В процессе реакции фосфат кальция разлагается с образованием ортофосфорной кислоты и сульфата кальция (фосфогипса). Основную реакцию процесса можно представить следующим уравнением:



Эффективность процесса определяется рядом технологических параметров, включая концентрацию серной кислоты, температуру процесса, продолжительность разложения, степень измельчения фосфорита и соотношение жидкой и твёрдой фаз. Оптимизация указанных параметров позволяет увеличить степень извлечения P_2O_5 в жидкую фазу, снизить остаточное содержание фосфора в фосфогипсе и улучшить качество получаемой экстракционной фосфорной кислоты.

В последние годы особое внимание уделяется исследованиям, направленным на переработку фосфоритов ЦК с использованием различных технологических приёмов предварительной подготовки сырья, включая механическую активацию, термическую обработку, применение поверхностно-активных веществ и регулирование состава реакционной среды. Проведённые исследования показывают, что применение указанных методов способствует повышению скорости разложения минералов, улучшению фильтрации фосфогипса и увеличению выхода фосфорной кислоты.

Использование фосфоритов ЦК имеет важное экономическое значение для Республики Узбекистан, поскольку позволяет эффективно использовать отечественную минерально-сырьевую базу, снижать зависимость от импортного сырья и расширять производство высококачественных фосфорных удобрений. Совершенствование технологии получения экстракционной фосфорной кислоты на основе местных фосфоритов обеспечивает повышение комплексности использования природных ресурсов, снижение материальных затрат и уменьшение экологической нагрузки за счёт рациональной переработки побочных продуктов производства [5].

Таким образом, исследования, посвящённые изучению закономерностей сернокислотного разложения фосфоритов ЦК и оптимизации технологических параметров процесса получения экстракционной фосфорной кислоты, имеют важное научное и практическое значение. Их результаты могут быть использованы при модернизации действующих производств и разработке новых энерго- и ресурсосберегающих технологий переработки низкосортного фосфатного сырья.

Материалы и методы. В работе использовали термоконцентрат фосфоритов ЦК, следующего состава, мас. %: P_2O_5 – 26,0; CaO – 52; MgO – 1,0; F – 2,73; R_2O_3 – 0,74; SO_3 – 3,65; CO_2 – 2,64, н.о. – 1,78, серную кислоту квалификации "ч" с концентрацией 93,0 % H_2SO_4 . Процесс получения ЭФК исследовали на лабораторной установке в периодических условиях. В термостатированный реактор, снабженный лопастной мешалкой, вводили расчетные количества раствора разбавления с содержанием 15,4+25% мас. P_2O_5 и термоконцентрат. После получения однородной пульпы производили дозировку серной кислоты. Продолжительность подачи серной кислоты варьировали в диапазоне 1÷60 мин. Соотношение Ж:Т в системе изменяли в интервале 2,5-3:1, продолжительность процесса – 2÷4 часа, температуру регулировали в диапазоне 50÷100°C. Норму серной кислоты на сумму оксидов кальция и магния поддерживали в опытах на уровне 95+107% от стехиометрии. Фильтрование и промывку осадка сульфата кальция осуществляли на термостатированной воронке Бюхнера (фильтроткань – Финская, Арт.71-1141/70) при разрежении 70-73 кПа по четырехфилтратной схеме. Полученные данные использовали для расчета основных показателей процесса – коэффициентов разложения фосфорита ($K_{разл.}$), извлечения R_2O_3 в раствор эффективности отмывки фосфогипса, технологического выхода P_2O_5 . Для получения микрогранулометрической характеристики кристаллизующегося в процессе сернокислотной экстракции фосфорита сульфата кальция использовали седиментационный анализ и оптический анализ с использованием поляризационного микроскопа Nikon Eclipse LV100N POL (Nikon, Japan).

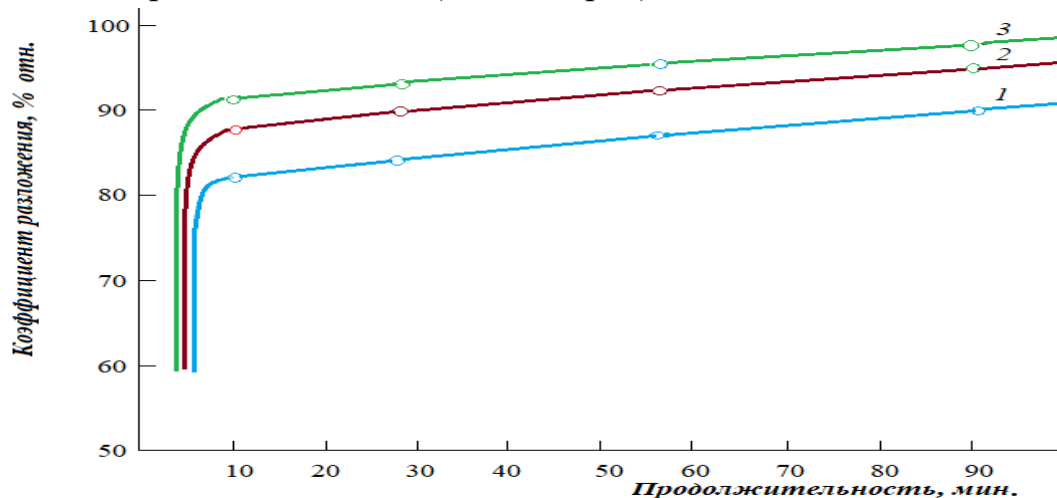


Рис. 1. Влияние температуры и продолжительности процесса на степень разложения термоконцентрата фосфоритов Центральных Кызылкумов: норма серной кислоты – 100 %, концентрация раствора разбавления – 15,45 P_2O_5 , Ж:Т=2,5:1, температура °C: 1 – 70, 2 – 80, 3 – 90.

Результаты и их обсуждение. Исследованием кинетики разложения термоконцентрата фосфорита ЦК установлено, что коэффициент разложения существенно зависит от температуры процесса. После прекращения дозировки серной кислоты (1 мин) в фосфатную пульпу (смесь раствора разбавления и фосфорита) степень разложения фоссырья уже через 5 мин достигает в зависимости от температуры 71+89% отн. (рис.1).

Затем коэффициент разложения незначительно возрастает и при стехиометрической норме серной кислоты достигает 100% для температур 90, 80, 70°C через 80, 120 и 180 минут соответственно. Судя по кинетическим кривым кызылкумский фосфорит достаточно легко и быстро практически нацело разлагается без избытка серной кислоты при 80÷85 °C за 2 часа. При этом не наблюдается интенсивного пенообразования, характерного для необоженного фосфорита и фосфоритов ЦК. Вышеуказанное позволяет эффективно использовать реакционный объем экстракторов.

Через 2 часа выдержки фосфорнокислотной суспензии при 70÷90 °C и норме кислоты 100 % образуются хорошо сформированные кристаллы дигидрата сульфата кальция с размерами: 50-120x20-60 мкм, доля которых от общей массы составляет в среднем 40÷60 % отн. Размеры кристаллов с повышением температуры заметно возрастают. По мере роста кристаллов их толщина в начале процесса составляет 2÷4 мкм, а через 120÷160 мин достигает 8÷12 мкм. Для установления влияния температуры на показатели процесса получения ЭФК определены $K_{разл}$, $K_{извл}$, $K_{отм}$ и $K_{вых}$ и производительность фильтрации фосфорнокислотной суспензии при норме серной кислоты 105 % от стехиометрии, концентрации раствора разбавления 25% P_2O_5 , Ж:Т системе 3:1. Суммарная продолжительность процесса составила 2,5 часа. Время дозировки серной кислоты – 20 мин.

Полученные данные сведены на рисунке 2. Анализ результатов показывает, что резкое почти прямолинейное возрастание $K_{разл}$, $K_{извл}$, $K_{отм}$ и $K_{вых}$ наблюдается при повышении температуры процесса от 50 до 75÷80°C. Дальнейший рост температуры не приводит к существенному увеличению $K_{разл}$, $K_{извл}$, хотя $K_{вых}$ возрастает. Некоторое снижение $K_{отм}$ при температуре выше 80 °C связано с образованием в осадке частично полугидрата сульфата кальция, который способствует упрочнению «пирога»: фосфогипса на фильтре и, как следствие, снижению коэффициента эффективной отмывки.

Производительность фильтрации ($\Pi_{ср}, \frac{кгP_2O_5}{м^2 \cdot час}$) по фильтрату при повышении температуры от 50 до 80°C возрастает от 160 до 730 $\frac{кгP_2O_5}{м^2 \cdot час}$, а в интервале температур 80÷100°C от 700 до 1600 $\frac{кгP_2O_5}{м^2 \cdot час}$.

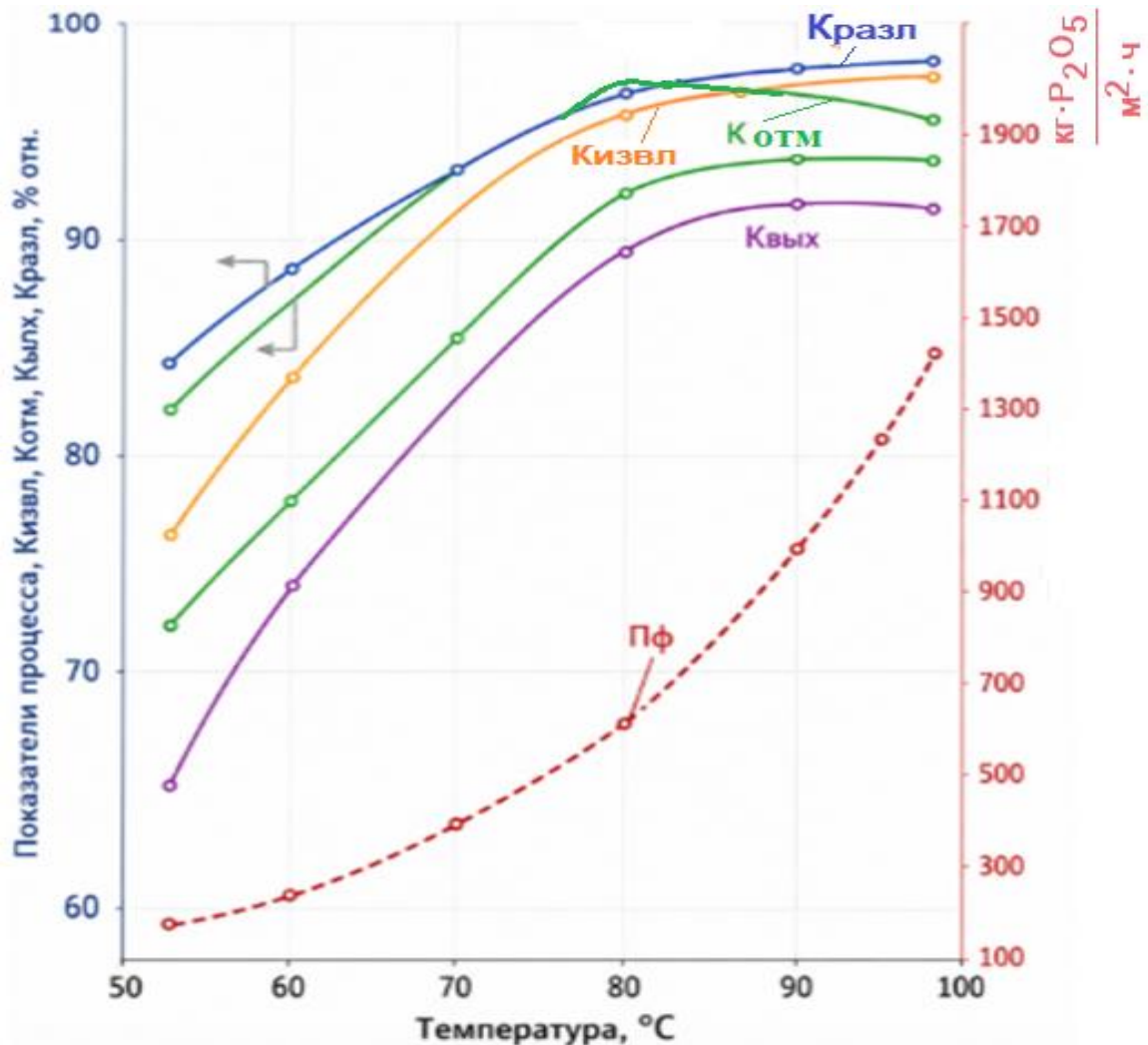


Рис. 2. Влияние температуры на показатели процесса получения ЭФК.

Последнее обусловлено резким снижением вязкости жидкой фазы фосфогипсовой суспензии, улучшением микрогранулиметрической характеристики осадка и частично повышением растворимости гипса, что приводит к образованию более однородного фосфогипса.

В результате изучения влияния нормы серной кислоты установлено (рис. 2.3), что при 80 °C, Ж:Т=2,5:1, концентрации раствора разбавления 22,3 %, продолжительности дозировки серной кислоты 20 мин и суммарной продолжительности процесса 4 часа повышение ее от 95 до 103 % от стехиометрии приводит к увеличению коэффициента разложения фосфоконцентрата от 95,12 до 99,2 %. Дальнейшее повышение нормы серной кислоты приводит к росту $K_{разл}$ на 0,5÷0,6 абс.% (рис. 3, кривая 1).

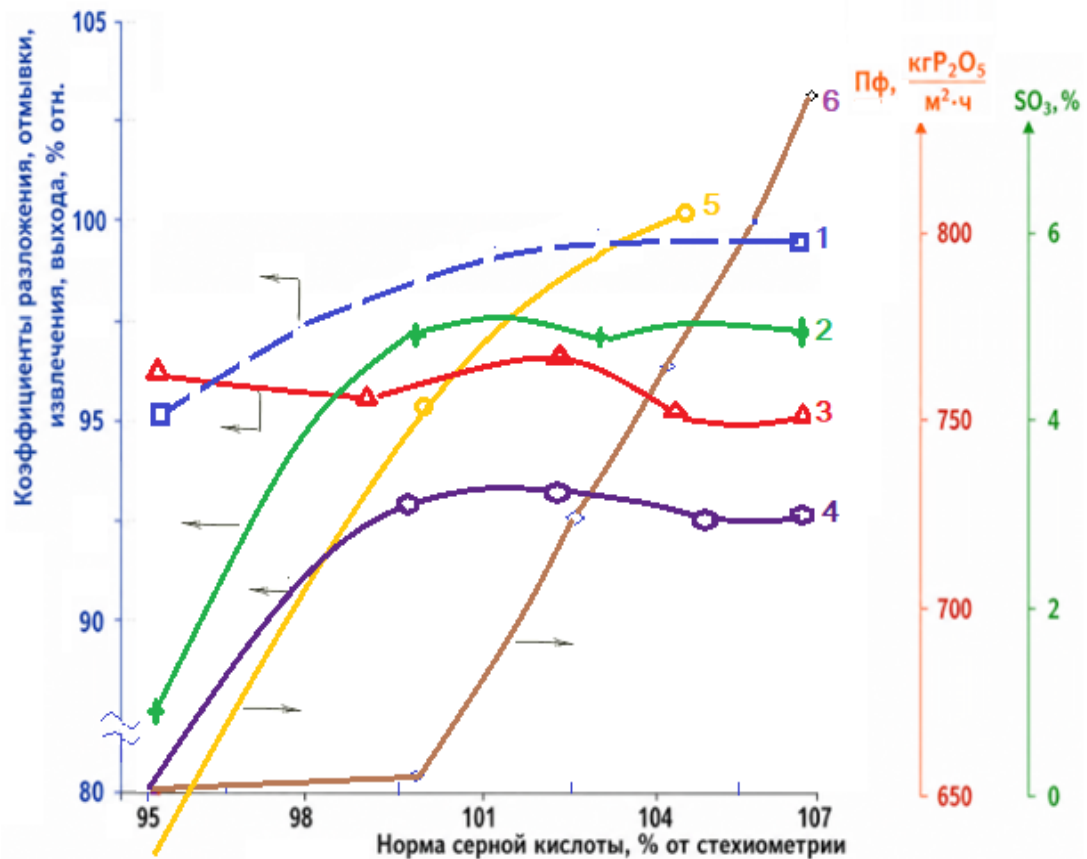


Рис. 3. Зависимость производительности фильтрации и показателей процесса получения ЭФК от нормы серной кислоты.

Коэффициент: 1-разложения, 2-извлечения, 3-отмывки и 4-выхода, 5-производительность фильтрации, 6-содержание SO₃ в жидкой фазе.

Максимальное значение коэффициента отмывки в изученном интервале варьирования нормы H₂SO₄ достигается при расходе последней 103% от стехиометрии и составляет 96,83%.

Последующее возрастание содержания H₂SO₄ в жидкой фазе суспензии незначительно снижает K_{отм.} И увеличивает K_{извл.} P₂O₅ в раствор. Технологический выход P₂O₅ в интервале нормы H₂SO₄ 100÷107% от стехиометрии при экстракционной переработке кызылкумского фосфорита составляет 93,3÷93,8% отн. Производительность фильтрации (кривая 6, рис 3) фосфорнокислотной суспензии гипса при увеличении нормы от 95 до 105% от стехиометрии возрастает от 640 до 810 $\frac{\text{кгP}_2\text{O}_5}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$.

Микроскопические исследования суспензии фосфогипса в фосфорной кислоты, образующегося при добавлении серной кислоты в процессе разложения и кристаллизации (рис. 4), показывают, что образование CaSO₄ · 2H₂O происходит вблизи зерен фосфорита (рис. 4 А), где имеют место максимальные пересыщение по сульфату кальция.

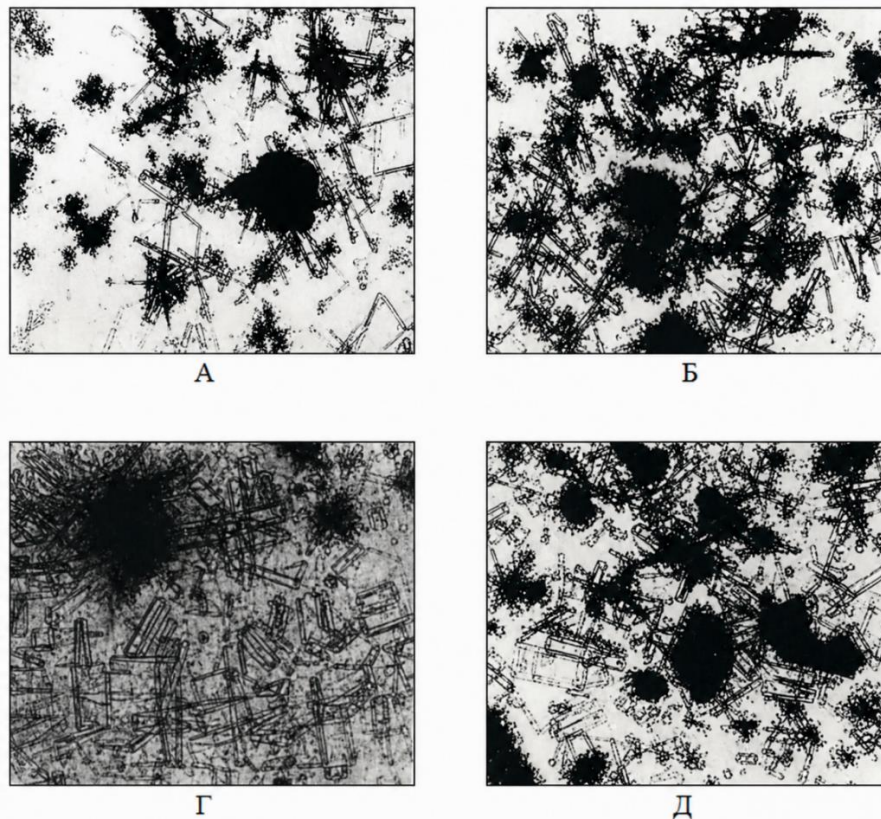


Рис. 4. Микроскопические фотографии кристаллов фосфогипса, образующегося в процессе получения ЭФК из кызылкумских фосфоритов.

Кристаллизация и рост кристаллов в первоначальный момент протекают хаотично. Встречаются отдельные тонкие пластинчатые кристаллы небольшой толщины с размерами: длина (ℓ , мкм) — 80 ± 100 мкм; ширина (b , мкм) — 15 ± 25 мкм. Основная масса около 85% представлена мелкими $20\text{--}30 \times 6\text{--}8$ мкм кристаллами. Наблюдается появление сростков и друзов. Количество последних через 30–40 мин заметно возрастает. Наблюдается рост кристаллов и, в первую очередь, по толщине. Процесс разложения фосфорита практически завершен. Через 180 ± 240 мин (рис. 4 Б, Г, Д) твердая фаза представлена достаточно хорошо сформированными и однородными кристаллами дигидрата сульфата кальция с размерами: ℓ — $120 \div 160$ мкм, b — $50 \div 80$ мкм, δ — $6 \div 13$ мкм. Доля таких кристаллов составляет около 80–85% от общей массы осадка фосфогипса.

Анализ экстракционной фосфорной кислоты и фосфогипса на содержание различных компонентов, результаты которого приведены в табл.1, показывает, что соединения магния во всем диапазоне изменения нормы серной кислоты практически полностью переходят в жидкую фазу и концентрация MgO в образцах ЭФК пропорциональна содержанию P_2O_5 . Присутствующие в термоконцентрате примеси Al_2O_3 и Fe_2O_3 на 83–90% извлекаются в кислоту, оставшаяся часть R_2O_3 находится в осадке фосфогипса в виде средних фосфатов.

Вводимый с фосфатным сырьем на стадии экстракции фтор на 70–75% переходит в продукционную кислоту, $10 \pm 20\%$ – в фосфогипс и в небольшом количестве 5–10% выделяется в газовую фазу.

Закключение.

1. Установлено, что степень разложения термоконцентрата фосфоритов ЦК зависит от температуры, нормы серной кислоты, соотношения Ж:Т и продолжительности процесса. Практически полное разложение достигается при 80–85 °С за около 2 часов.

2. Определено, что повышение температуры до 75–80 °С и нормы H_2SO_4 до 100–103 % от стехиометрии повышает степень разложения и извлечение фосфора в раствор. При норме 103 % коэффициент разложения достигает 99,2 %, а коэффициент отмывки — 96,83 %.

3. Установлено, что повышение температуры улучшает фильтрацию суспензии за счёт снижения вязкости и формирования крупных кристаллов фосфогипса размером 120–160 × 50–80 мкм. Основная часть MgO , 83–90 % Al_2O_3 и Fe_2O_3 переходит в ЭФК, при этом 70–75 % фтора извлекается в кислоту. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования термоконцентрата фосфоритов ЦК для производства ЭФК.

**Химический состав экстракционной фосфорной кислоты и фосфогипса из термоконцентрата
кызылкумских фосфоритов**

№ опыта	Норма H ₂ SO ₄ , %	Содержание компонентов, мас. %											
		Экстракционная фосфорная кислота							Фосфогипс				
		P ₂ O ₅	H ₂ SO ₄	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	F	P ₂ O ₅ общ.	P ₂ O ₅ водн.	P ₂ O ₅ цитр.	F	Гипсо- вое число
1	95	27,00	-	1,02	0,54	0,97	0,57	2,19	2,63	0,55	1,25	0,38	1,57
2	100	27,53	0,10	0,45	0,55	0,99	0,58	2,23	0,79	0,30	0,16	0,37	1,60
3	103	27,57	2,98	0,22	0,55	0,99	0,58	2,23	1,05	0,52	0,49	0,37	1,61
4	103	26,52	2,85	0,22	0,53	0,95	0,56	2,15	1,02	0,51	0,43	0,30	1,61
5	105	28,11	4,43	0,13	0,56	1,01	0,59	2,27	1,10	0,75	0,31	0,37	1,59
6	107	26,41	6,50	0,13	0,53	0,95	0,55	2,14	1,14	0,77	0,32	0,36	1,59
7	107	26,40	6,42	0,12	0,53	0,95	0,55	2,14	1,13	0,80	0,45	0,35	1,58

Использованные литературы:

1. Karshiev B.N., Khushvaktov M.B., Seytnazarov A.R., Nomozov Sh.Y., Reymov A.M., Namazov Sh.S. Sustainable purification of wet-process phosphoric acid for high-purity fertilizer production // Chemical Science International Journal. – 2025. – Vol. 34, No. 3. – P. 14–23. – DOI: 10.9734/CSJI/2025/v34i3964.
2. Abilkasova S., Akhmetova S., Kalimoldina L., Suleimenova, Berkinbayeva A., Kabulova G. Study on the purification process of phosphoric acid using organic solvents: A case of wet-process phosphoric acid based on Karatau phosphorites // The Open Chemical Engineering Journal. – 2025. – Vol. 19. – DOI: 10.2174/0118741231376942250418090353.
3. Hu P.J., Fan H.B., Li H.Q., Qi S., Song S.N., Gao M.X., Cao Y., Yang X., Sun B.H. Effects of different phosphate fertilizer sources on phosphorus fractions and bioavailability in calcareous soil // Journal of Plant Nutrition and Fertilizers. – 2025. – Vol. 31, No. 7. – P. 1340–1352. – DOI: 10.11674/zwyf.2024528.
4. Khoshimov I.E., Turdialieva Sh.I., Seytnazarov A.R., Namazov Sh.S. Concentration of wet process phosphoric acid from washed thermo concentrate of phosphorites Central Kyzylkum and its rheological properties // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2025. – Vol. 60, No. 2. – DOI: 10.59957/jctm.v60.i2.2025.2.
5. Бахриддинов, Н. С. (2026). Изучение процесса разложения хлорида калия на основе полифосфорной кислоты. *Universum: технические науки*, 2(6 (147)), 4-11.
6. Bakhriddinov Nuriddin, Sherkuziev Doniyor Scientific and Technical Journal of NamSTU. ISSN 2181-8622. // Effect of potassium chloride particle size and stirring speed on the process of polyphosphoric acid decomposition, Namangan, Volume 11, Issue 2, 2026, pp.213-220.
7. Бахриддинов Н.С., Шеркузиев Д.Ш., Намазов Ш.С. Микрокинетика процесса разложения хлористого калия полифосфорной кислоты// IV Международная конференция молодых ученых Актуальные проблемы теории и практики электрохимических процессов Энгельс 22-24 апреля 2026. С. 273-277.