

На правах рукописи

КУРБОНОВ Шодком Ахмадбоевич

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ
ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФОРИТОВЫХ РУД РИВАТСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАДЖИКИСТАНА**

**Специальность
2.6.7 – технология неорганических веществ**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Душанбе- 2023

Работа выполнена в лаборатории «Обогащения руд» ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана».

Научный руководитель: **Самихов Шонавруз Рахимович** - доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории «Обогащения руд» ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана».

Официальные оппоненты: **Гайбуллаева Зумрат Хабибовна** - доктор технических наук, доцент кафедры технологии химического производства Таджикского технического университета им. М. Осими.

Баротов Бахтиёр Бурхонович – кандидат технических наук, заведующий Научно-исследовательским отделом Агенства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана.

Ведущая организация: Кафедра «Металлургия» Горно-металлургический институт Таджикистана.

Защита состоится **«25» сентября 2023 года в 09 часов** на заседании диссертационного совета 73.1.002.02 при ГНУ «Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана» по адресу: 734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: dissovet@ikai.tj

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана» www.chemistry.tj

Автореферат разослан « _____ » _____ **2023** г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук

Халикова Л.Р.

Введение

Актуальность работы. Основными видами фосфатного сырья для производства фосфорных удобрений в настоящее время являются апатиты и фосфориты. Из них изготавливают фосфатную муку, которая применяется, главным образом, для получения минеральных удобрений и частично для дальнейшей химической переработки. Качество фосфорных удобрений оценивается по содержанию в них пятиоксида фосфора P_2O_5 . Поскольку аграрное производство в Республике Таджикистан является фундаментальной отраслью экономики, весьма важным фактором является его постоянное развитие и укрепление, что невозможно без развития и получения минеральных удобрений. В последние годы из-за резкого повышением цен на минеральные удобрения значительно сократилась их поставка в Республику. Наибольший вклад в ВВП Таджикистана в 2022 году внес сектор сельского хозяйства—22,6%.

Общемировая добыча фосфатов, в 2022 году, составила 220 млн. тонн. Извлечение фосфатных руд в промышленных масштабах осуществляется во многих странах. Согласно данным U.S. Geological Survey в 2021 году лидерами по добыче являются: Китай, Марокко, США и Россия.

Согласно мировым данным основными поставщиками фосфоритов являются Аравийско-Африканские страны (Марокко, Алжир, Египет, Тунис) с запасами более 5100 млн. тонн, Казахстан (Чулак-Тай), США, ЮАР (Палабора), Украина, Киргизия и некоторые др. Основная масса концентратов из этих стран направляется на экспорт, так как потребление концентратов этими странами невелико. Поэтому проблема добычи, переработки и использования местного фосфорсодержащего сырья для Республики Таджикистан является актуальной задачей.

В Таджикистане обнаружено и изучено примерно 30 крупных и мелких месторождений фосфоритов. Всесторонне изученными являются месторождения: Каратагское, Хачилдиёрское и Исфаринское. Риватское фосфоритовое месторождение является относительно малоизученным и находится на правом берегу р. Зеравшан вблизи г. Пенджикент. Балансовыми расчетами показано 22 млн.т. руды, а теоретические прогнозы составляют 60 млн.т. В своем составе фосфориты Риватского месторождения содержат различные элементы-микроудобрения и представляют собой слабощементированные легкообогатимые песчаники. Предварительными исследованиями показана возможность получения из него фосфоритной муки и в дальнейшем при химической переработке -суперфосфата.

В диссертации рассмотрены ресурсы, технологии переработки, получения минерального удобрения из фосфоритовых руд Риватского месторождения и его агрохимического испытания.

Степень разработанности темы. К моменту начала работы над диссертацией в отечественных и зарубежных периодических изданиях, и монографиях отсутствовали сведения о переработке фосфоритной руды месторождения Риват с получением минеральных удобрений и об исследовании физико-химических характеристик руды.

Целью настоящей работы является изучение физико-химических и технологических основ переработки фосфоритовых руд Риватского месторождения.

Для достижения цели были решены следующие научные задачи:

- изучен химический, гранулометрический, минералогический и вещественный состав фосфорсодержащих руд месторождения Риват;
- исследован методом флотационного обогащения фосфоритов с применением новых легкодоступных флотореагентов;
- определены оптимальные параметры получения простого суперфосфата из фосфоритных руд месторождения Риват и изучены составы полученных продуктов;
- определены термодинамические функции и выявлены лимитирующие стадии процесса кислотного разложения фосфатного концентрата;
- разработаны принципиальная технологическая схема комбинированного флотационного обогащения фосфоритного сырья, дающая возможность получения кондиционного концентрата содержащего более 26 % P_2O_5 .
- проведены агрохимические испытания полученных суперфосфатов на влияние морфофизиологические показатели хлопчатника.

Научная новизна работы:

- Впервые исследованы условия селективного разделения фосфатных минералов руды месторождения Риват при обратной и прямой флотации и разработана его принципиальная технологическая схема.
- Обоснован способ эффективной переработки концентрата из бедной руды месторождения Риват кислотным способом. Исследованы термодинамика, кинетика и механизм протекания процесса кислотного разложения. Установлено, что разложение фосфорита протекает в диффузионной области, кажущиеся значения кинетических параметров процессов равно $E_{акт.} = 19,93$ кДж/моль, что свидетельствует о протекании реакции в диффузионной области.
- Установлено, что внесение в почву суперфосфата с содержанием P_2O_5 13 - 18 %, положительно влияет на морфобиологические и фотосинтетические показатели и технологические качества волокна хлопчатника.

Теоритическая значимость работы.

Теоретические аспекты данного исследования используется и внедрены в

учебный процесс, при чтении лекции, проведении лабораторных работ, написании научных работ, дипломных работ, рефератов по предметам химической технологии, агрохимии, технология обогащения руд и минеральных удобрений.

Практическая значимость работы:

- ❖ разработана технология переработки фосфорсодержащих руд месторождения Риват, включающая флотационное обогащение фосфоритовой руды с применением собирателя олеиновой кислоты и талового масла с получение продуктов обогащения;
- ❖ на полупромышленной установке производительностью 60 кг/ч были проведены испытания по обогащению фосфатной руды месторождения Риват с содержанием 5,0 % P_2O_5 . Было переработано 5 000 кг фосфоритной руды. Получена фосфоритная мука с содержанием P_2O_5 24,3 % с извлечением 85,73 %;
- ❖ получено фосфорное удобрение и исследовано его влияние на морфофизиологические характеристики хлопчатника.

Методология и методы исследования

Обоснованность результатов и научных выводов работы обеспечена большим объемом выполненных экспериментов с применением современных методов исследования: рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализов, атомно-абсорбционной спектроскопии, титрования и др.

Для графической, химической и математической обработки результатов использовались программы «Power Point» и «Excel», «ISIS Draw 2,4» и «Math Type Server».

Теоретической и методологической основой исследования являлись работы современных отечественных и зарубежных учёных в области обогащения и переработки фосфорсодержащего сырья.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты изучения химического и минералогического состава исходного сырья и продуктов флотации на высокотехнологичном волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном (ВДРФ) спектрометре S8 TIGER (Германия);
- результаты исследований по выявлению оптимальных реагентных режимов флотации фосфоритовых руд месторождения Риват;
- результаты расчёта термодинамических показателей сернокислотного разложения фосфоритного концентрата и определены механизмы взаимодействия основных минералов концентрата с кислотами;

- результаты исследований по выявлению основных термодинамических, кинетических закономерностей сернокислотного разложения фосфоритного концентрата;
- разработка принципиальной технологической схемы переработки фосфоритов из руды месторождения Риват с использованием флотационного обогащения;
- результаты исследования влияния полученных фосфорных удобрений на морфофизиологические характеристики растений.

Вклад автора заключается в нахождении способов и решений поставленных задач, планировании и проведении лабораторных испытаний, применении экспериментальных и расчётных методов для достижения намеченной цели, обработке, анализе и обобщении результатов эксперимента и расчётных результатов работы, а также их публикации, формулировке и составлении основных положений и выводов диссертации.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на: XIII Нумановских чтениях «Достижения химические науки за 25 лет Государственной независимости РТ», посвящённые 70-летию образования Института химии им. В.И. Никитина НАНТ (НАНТ, Душанбе, 2016); Республиканский научно – практической конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана» (ТНУ, Душанбе, 2017); VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 55-летию кафедры автоматизации производственных процессов (Иркутск, 2017); XIV Нумановских чтениях. “Вклад молодых учёных в развитие химической науки”, посвящённые “Году молодёжи” (НАНТ, Душанбе, 2017); Республиканской научно - практической конференции «Проблемы металлургической отрасли, строительства, маркшейдерского дела и пути их решения на современном этапе» (ГМИТ, Бустон, 2018); Международной научно-практической конференции “Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан”, посвященной «Дню химика» (НАНТ, Душанбе, 2018); XV Нумановских чтениях «Современное состояние химической науки и использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан» (НАНТ, Душанбе, 2019); Республиканской научно-практической конференции «Геологические и маркшейдерские проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых», посвященной “20 – летию изучения и развития естественных, точных и математических наук” (ГМИТ, Бустон, 2020); Международной научно-практической конференции «Состояния и основные проблемы горно-металлургической промышленности Таджикистана» (ГМИТ, Бустон, 2020); Республиканской научно-практической

конференции «Научно-инновационная деятельность поколения независимости», (для студентов, магистрантов, аспирантов, докторантов и соискателей), (ГМИТ, Бустон, 2021); Республиканской научно-практической конференции «Проблемы становления цифровой металлургии и машиностроения в республике Таджикистан», посвящённая «Дню Национального Единства» (ГМИТ, Бустон, 2021); Международной научно-практической конференции «Развитие химической науки и области их применения», посвященной 80-летию памяти д.х.н., член-корр. НАНТ профессора Кимсанова Бури Хакимовича (ТНУ, Душанбе, 2021); XVI Нумановских чтениях «Достижение химической науки за 30 лет государственной независимости Республики Таджикистан» (НАНТ, Душанбе, 2021); XVII Нумановских чтениях «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке» (НАНТ, Душанбе, 2021); Республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии производства одинарных, комплексных и органоминеральных удобрений», (Ташкент, 2022).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 23 научных работ, из них 6 статей в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 16 тезисов докладов на республиканских и международных конференциях и получен 1 малый патент Республики Таджикистан.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, посвященных обзору литературы, технике эксперимента и экспериментальным исследованиям, а также выводов и списка использованной литературы. Диссертационная работа изложена на 117 страницах компьютерного набора, включает 12 таблиц, 17 рисунков и 136 библиографических ссылок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулированы цели и задачи, отражены актуальность темы, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приводятся сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации рассматриваются имеющиеся в литературе данные о природе фосфорсодержащих руд и концентратов, известные способы обогащения, химическая переработка фосфатных концентратов и получение фосфатных удобрений, на основании которых намечаются направления собственных исследований. Рассмотрены практические аспекты использования серноокислотного разложения фосфоритовых концентратов. На основе литературного обзора сделаны соответствующие заключения и обоснования по выбору темы диссертационной работы.

Во второй главе диссертации приводятся «Объекты и методы исследования». Фосфоритовое месторождение Риват связано с кайнозойского отложения, которые расположено на южном склоне Туркестанского хребта. Он в виде полосы шириной до 3-х км, длиной 22 км, прослеживается вдоль правого борта реки Зеравшан. Месторождение состоит из 2-х участков: Хурми – Майкота, протяженностью 18 км и Миндоне длиной 4 км. В таблице 1 и 2 приведен минералогический и химический состав руды месторождения Риват.

Таблица 1. Количественное соотношение минералов фосфоритовые руды, месторождения Риват

№, п/п	Наименование минералов	Количество в %	Крупность зёрен в мм		
			От	До	преобладает
1.	Диодохит	5,1	0,3	20	1-2,5
2.	Даллит	8,8	0,5	20	1-1,5
3.	Кварц	49	0,1	2*3	0,7
4.	Плагиоклаз	1,5	1	-	1
5.	Ортоклаз	35,0	1	-	1
6.	Гипс	3,6	1	6,10	2*2
7.	Кальцит	8,3	0,3	2	0,2*0,3
8.	Монтмориллонит	19,3	0,01	0,8*20	1
9.	Турмалин	Ед. зп	0,2		0,2
10.	Циркон	Ед. зп	0,1		0,1
11.	Гематит	0,5	0,3		0,3
12.	Гидроокислы железа	в виде дендритов			

Фосфориты, представлены кварц – полевошпатовой песчанистой породой с примесью фосфатных зёрен. По данным предыдущих исследование установлено, что фосфатные минералы представляют, диодохитом и даллитом.

Таблица 2. Химический состав фосфоритов Риватского месторождения

№, п/п	Компонент	Массовая доля, %	№, п/п	Компонент	Массовая доля, %
1.	SiO ₂	18,96	8.	TiO ₂	0,08
2.	Al ₂ O ₃	1,95	9.	CO ₂	2,14
3.	SO ₃	9,61	10.	Fe ₂ O ₃	2,15
4.	Mn ₂ O ₃	0,11	11.	P ₂ O ₅	24,20
5.	CaO	34,40	12.	MgO	1,08
6.	K ₂ O	0,38	13.	(OH)	3,05
7.	Na ₂ O	1,06			

На основе химического анализа очень трудно определить принадлежность фосфатного вещества указанных фосфоритов к какому – нибудь конкретному минералу, хотя значительное содержание Na_2O и SO_3 и их прямо- пропорциональная связь с P_2O_5 делает близким анализируемые вещества к натрийсульфатапатиту.

Для определения гранулометрического состава образца использовали набор стандартных сит с квадратной формой ячейки (размеры отверстий +2,5; -2,5+1,0; -1,0+0,63; -0,63+0,40; -0,40+0,20; -0,20+0,1; -0,1+0,063; -0,063 мм) с поддоном и крышкой. Отобранная проба взвешивалась на весах с точностью до 0,01 г.

Определение P_2O_5 в образцах минеральных удобрений проводилось согласно ГОСТу 20851.2-75, гравиметрическим магнизальным методом. Метод основан на растворении пробы в смеси азотной и соляной кислот при температуре кипения и осаждении фосфат иона магнизальной смесью в виде магни- аммоний фосфата, озоления осадка при температуре от 700 до 800 °С с переходом в пирофосфат магния, прокаливании пирофосфата магния при температуре от 1000 до 1050 °С, взвешивании и обработки результатов.

Флотация – это наиболее современный, эффективный и широко распространенный, а также во многих отношениях и наиболее комплексный метод. Флотации подвергалась руда, измельченная до 50 % класса «-0,063мм». Флотацию руды массой 250 г проводили во флотационной машине объемом 1 литр конструкции «Механобр». Разработанная схема включала в себя основную, контрольную флотации и две перечистки концентрата основной флотации. Концентрат высушивали и использовали для дальнейших исследований.

Изучение процесса получения простого суперфосфата из концентрата проводили в лабораторных условиях. Сущность работы заключается в воздействии на массу мелко измельченного концентрата (-0,20+0,1) с технической серной и фосфорной кислот. При этом, соотношение твердое тело к жидкости составляет 1:10.

В третьей главе диссертации приведены результаты и расчеты опытов по переработке фосфорсодержащих руд месторождения Риват методом флотации и исследованию термодинамики и кинетики процесса сернокислотного разложения концентрата.

Одним из основных методов обогащения фосфоритных руд являются флотационные. К перспективным методам переработки и обогащения фосфоритов относят разделение в тяжелых суспензиях, сортировку, термическую обработку, магнитную сепарацию, бактериальное выщелачивание. В схемы также включены вспомогательные операции – дробление,

грохочение, измельчение, обесшламливание, фильтрация и сушка. Большое разнообразие технологических типов фосфоритовых руд привело к распространению комбинированных схем обогащения. Так, извлечение фосфатных минералов из хвостов основного процесса промывки увеличивает общее извлечение P_2O_5 и способствует повышению комплексности использования фосфатного сырья.

Проведенный ситовой анализ дробленной до -2 мм руды показал, что нельзя отдать предпочтение по содержанию P_2O_5 какому-нибудь из анализируемых классов, то есть грохочение не позволяет получить готовый концентрат (табл. 3).

Известно, что при флотации минералов, имеющих в своей кристаллической решетке в качестве катионов щелочноземельные металлы, а также при флотации некоторых окисленных минералов нашли широкое применение реагенты с карбоксильной солидофильной группой (олеиновая кислота, олеат натрия и др.).

Таблица 3. Распределение фосфатов по классам крупности

Класс	Выход		Содержание P_2O_5 , %	Извлечение P_2O_5 , %
	Г	%		
+2,5	10,0	10,0	4,0	6,2
-2.5+1,0	6,0	6,0	4,2	3,9
-1,0+0,63	5,5	5,5	5,7	4,8
-0,63+0,40	7,5	7,5	5,7	6,6
-0,40+0,20	38,7	38,7	6,2	37,0
-0,20+0,1	23,4	23,4	8,4	30,3
-0,1+0,063	3,9	3,9	10,6	6,4
-0,063	5,0	5,0	6,3	4,8
Исх.руда	100,0	100,0	6,5	100,0

Исследования проводились в открытом цикле. В качестве собирателя олеиновая кислота применяется шире, чем другие реагенты подобного состава. Углеводородный радикал этого соединения составляет неполярную часть молекулы и отличается практически полным отсутствием взаимодействия с водой.

В связи с этим, было решено приготовить и применять эмульсию олеиновой кислоты с щелочью NaOH (1:0,05). Применение для флотации олеиновой кислоты в щелочной пульпе с едким натром равноценно применению олеата натрия. Олеиновая кислота и олеат натрия в настоящее

время применяют при флотации несulfидных руд, в том числе для флотации фосфоритов, апатитов и других руд.

Содержание P_2O_5 в исходной пробе составляло 4,1-5,85 %. Флотация велась в щелочной среде, создаваемой содой. Для депрессии минералов пустой породы использовалось жидкое стекло. Для повышения извлечения P_2O_5 нами использовалась смесь олеиновой кислоты с керосином. Расход керосина 3 кг/т является оптимальным.

На основании проведенных предварительных исследований по флотации были подобраны следующие условия: тонина помола 50 %, класса -0,063 мм. Для создания рН среды использовалась сода (2 кг/т), которая подавалась в голову флотации совместно с жидким стеклом (1 кг/т). Расход олеиновой кислоты варьировался от 2 до 4 кг/т. Результаты флотации в открытом цикле представлены в таблице 3.

Разработанный реагентный режим позволил получить кондиционный фосфоритовый концентрат с содержанием оксида фосфора (V) больше 27 % с извлечением 89 % фосфатов из руды. Содержание P_2O_5 в хвостах составляло до 0,51 %. Из полученных данных установлено, что расход олеиновой кислоты 3 кг/т является оптимальным.

Таблица 4. Флотация фосфоритной руды с олеиновой кислотой в открытом цикле с двумя перечистками концентрата

Наименование Продуктов	Выход		Содержание P_2O_5 , %	Извлечение %
	г	%		
Концентрат	40	16,13	28,32	88,68
Пром.продукт. I перечистки	16	6,45	2,96	3,71
Пром.продукт. II перечистки	5	2,02	10,08	3,95
Хвосты	187	75,40	0,25	3,66
Руда	248	100,00	5,15	100,00

Рентгенофазовый анализ исходной фосфоритной руды и продуктов его обогащения

Минералогический состав исходной руды и продуктов флотации определяли физико-химическими методами на высокотехнологичной волнодисперсионной рентгенофлуоресцентном (ВДРФ) спектрометре S8 TIGER (Германия).

Рентгеновские дифрактограммы порошковых исходных фосфоритных руд, продуктов промежуточного обогащения и конечных продуктов обогащения руд приведены на рисунках 1 – 3.

На рисунке 1 представлены рентгенограммы исходной фосфоритной руды месторождения Риват. Как видно из рентгенограмм исходной фосфоритной руды, основными минералами, присутствующими в нем является: кварц и карбонат-фторапатит.

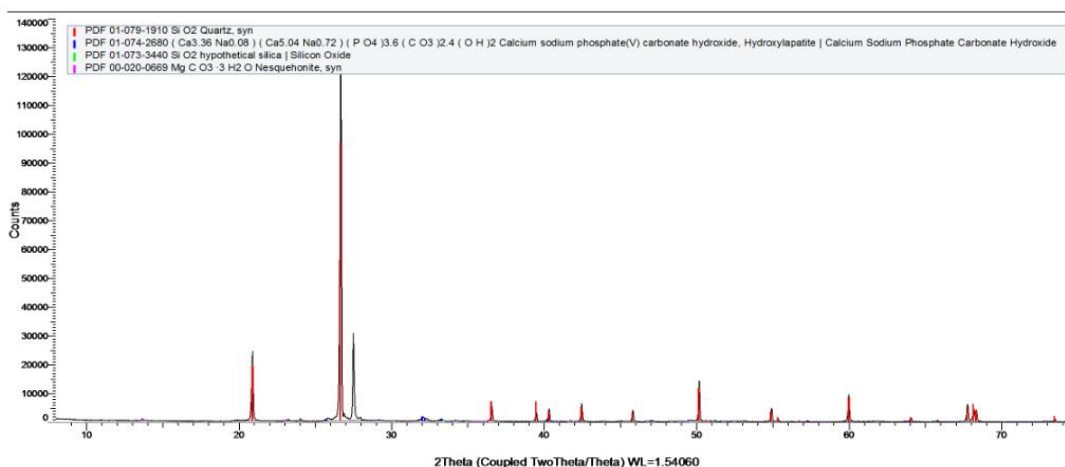


Рисунок 1. Рентгеновская дифрактограмма исходной фосфоритовой руды месторождения Риват

Из минералогического состава фосфоритных руд исследуемых месторождений чётко видно, что у фосфоритной руды месторождения Риват содержание SiO_2 больше, чем других минералов, что говорит о преобладании кварцевых минералов в данном сырье.

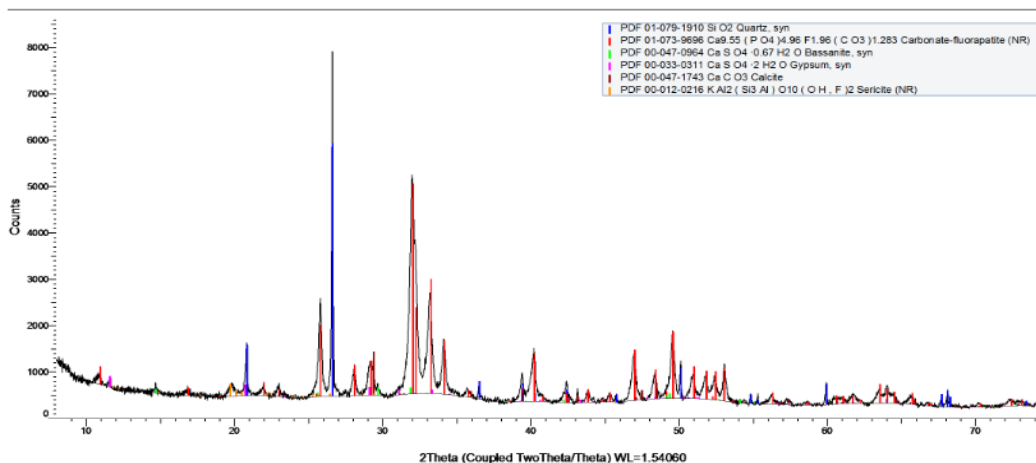


Рисунок 2. Рентгеновская дифрактограмма концентрата фосфоритовой руды месторождения Риват

На представленной рентгенограмме концентрат (фосфоритовая мука), получен при оптимальных условиях флотации. Как видно из данных рисунки, содержание основного компонента P_2O_5 в обеих источниках после обогащения растёт. Особенно четко диагностируется карбонат-фторапатит, который выдает характерные пики в области 26° , $29-34^\circ$.

На рисунке 3 представлены дифрактограммы хвостов флотации фосфоритных руд Риватского месторождения. Как видно из дифрактограммы,

линии фосфорита отсутствуют в хвостах флотации, это объясняется тем, что при флотации минералы фосфорита извлекаются в концентрат.

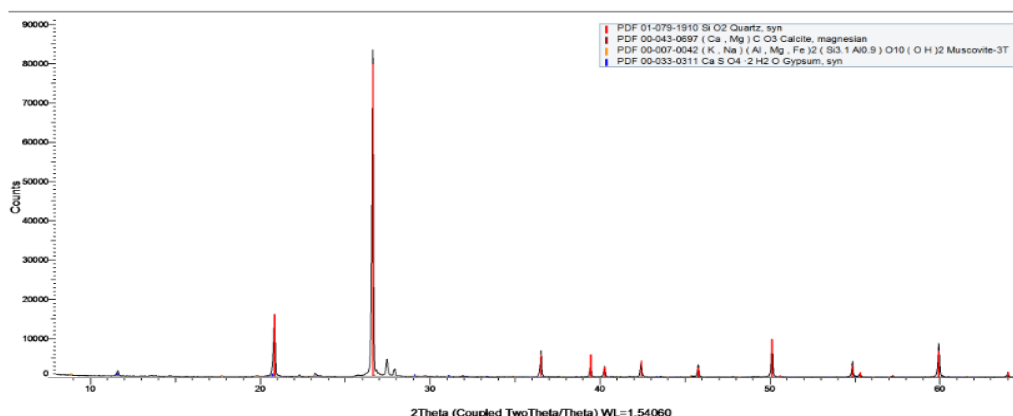


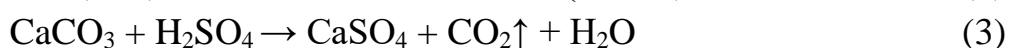
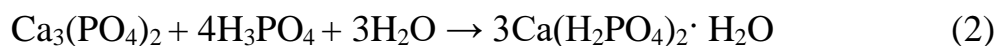
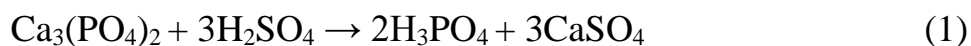
Рисунок 3. Рентгеновская дифрактограмма хвостов флотации

Таким образом, рентгеновская дифрактометрия выявляет особенности поэтапного разложения исходных фосфоритных руд на различных этапах технологической обработки и обогащения.

Расчет значений термодинамических функций процесса сернокислотного разложения фосфоритного концентрата

Изучен процесс сернокислотного разложения фосфоритного концентрата месторождения Риват.

В основе процесса лежат следующие реакции:



Для определения возможности протекания представленных реакций был проведен расчет термодинамических функций процесса сернокислотного разложения концентрата.

Согласно термодинамическим расчетам, проведенным с использованием метода Темкина-Шварцмана, все компоненты взаимодействуют с H_2SO_4 уже при комнатной температуре. В результате взаимодействия компонентов концентрата с серной кислотой сначала образуется свободная фосфорная кислота и другие побочные продукты, затем происходит разложение фосфата накопившейся фосфорной кислотой, что способствует образованию целевого продукта.

Результаты расчета термодинамических функций процесса сернокислотного разложения фосфоритного концентрата приведены в таблице 5.

Таблица 5. Значения термодинамических функций сернокислотного разложения компонентов фосфоритовой руды

1. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{CaSO}_4$				
Т, К	298	323	343	363
- ΔH_r , Дж/моль	256980	255205,07	253783,54	252351,96
ΔS_r , Дж/(моль·К)	10,16	15,88	20,15	24,21
- ΔG_r , кДж/мол	260,01	260,33	260,69	261,14
$\ln K_p$	104,99	96,99	91,46	86,57
K_p	$3,97 \cdot 10^{45}$	$1,33 \cdot 10^{42}$	$5,26 \cdot 10^{39}$	$3,95 \cdot 10^{37}$
2. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 4\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$				
Т, К	298	323	343	363
- ΔH_r , Дж/моль	183720	189510,22	194274,13	199146,05
ΔS_r , Дж/(моль·К)	- 474,7	- 493,35	- 507,66	- 521,47
- ΔG_r , кДж/мол	42,26	30,16	20,15	9,85
$\ln K_p$	17,065	11,2352	7,07	3,27
K_p	$2,5 \cdot 10^7$	$7,57 \cdot 10^4$	$1,18 \cdot 10^3$	$2,63 \cdot 10^1$
3. $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$				
Т, К	298	323	343	363
- ΔH_r , Дж/моль	85220	83855,83	82773,29	81691,02
ΔS_r , Дж/(моль·К)	141,71	146,11	149,36	152,42
- ΔG_r , кДж/мол	127,45	131,05	134,00	137,02
$\ln K_p$	51,47	48,83	47,02	45,43
K_p	$2,25 \cdot 10^{22}$	$1,61 \cdot 10^{21}$	$2,63 \cdot 10^{20}$	$5,37 \cdot 10^{19}$
4. $\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{HF}$				
Т, К	298	323	343	363
- ΔH_r , Дж/моль	-64080	-66249,10	-68023,09	-69830,64
ΔS_r , Дж/(моль·К)	227,95	234,94	240,27	245,88
- ΔG_r , кДж/мол	3,85	9,64	14,39	19,25
$\ln K_p$	1,55	3,59	5,05	6,38
K_p	4,71	36,23	156,02	589,93
5. $4\text{HF} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{SiF}_4$				
Т, К	298	323	343	363
- ΔH_r , Дж/моль	185940	188068,51	189763,28	191454,52
ΔS_r , Дж/(моль·К)	-315,15	-322,01	-327,09	-331,89
- ΔG_r , кДж/мол	92,03	84,06	77,57	70,99
$\ln K_p$	37,16	31,32	27,21	23,53
K_p	$1,37 \cdot 10^{16}$	$4 \cdot 10^{13}$	$6,56 \cdot 10^{11}$	$1,66 \cdot 10^{10}$

Как показывают проведенные расчеты, все реакции протекают необратимо. Оптимальной температурой проведения процесса является 298 К. В совокупности процесс сернокислотного разложения концентрата является экзотермическим.

Процесс взаимодействия компонентов концентрата с серной кислотой является самопроизвольным (табл. 5), но при этом повышение температуры по-разному действует на отдельные реакции. С повышением температуры в первой стадии при взаимодействии серной кислоты с фосфатом кальция энергия Гиббса уменьшается незначительно, но при этом она увеличивается во второй стадии при взаимодействии ортофосфорной кислоты с фосфатом кальция. Увеличение температуры также благоприятно действует на побочные реакции (первая и вторая реакции), что увеличивает полноту разложения этих компонентов. С другой стороны, увеличение температуры неблагоприятно действует на процесс сернокислотного разложения в целом. Таким образом, согласно термодинамическому расчету, разложение компонентов концентрата серной кислотой протекает самопроизвольно без предварительных термических или химических активаций.

Для подтверждения проведенных термодинамических расчетов было проведено экспериментальное исследование влияния температуры на процесс сернокислотного разложения и количество оставшего оксида фосфора (V) в интервале 298-343 К. Как показывают расчеты, с увеличением температуры от 323 до 343 К содержание оставшего оксида фосфора (V) в фильтре после сернокислотного разложения уменьшается от 9,74 до 5,84 %. При температуре 298 К этот показатель составляет 3,80 %, что также свидетельствует о нецелесообразности проведения процесса при более высоких температурах.

Исследование кинетики растворения фосфоритного концентрата Риватского месторождения.

Кинетика химических реакций, протекающих в гетерогенных химических системах, имеет специфические характеристики. Цель данного исследования является выявление последовательности реакций, идущих в системе и предложение методологии анализа кинетики данной гетерогенной реакции. Гетерогенный характер данного процесса обусловлен тем, что на границе раздела фаз протекает несколько реакций, ограничивающие и разделяющие различные фазы реакционной системы.

Перед использованием любой фосфоритной руды для производства удобрения необходимо провести кинетическое исследование, чтобы определить оптимальные параметры. Как упоминалось выше в уравнении (1), обработка или растворение природного фосфата в серной кислоте протекает в две стадии.

Из уравнения (3) следует, что превращение фтороапатита в монокальцийфосфат является самой медленной (лимитирующей) стадией процесса и оно определяет скорость всего процесса. При этом, достигается максимальное значение растворимости фтороапатита в фосфорной кислоте, потому что межфазное взаимодействие твердое тело-жидкость, которым пренебрегают блокирует реакцию. Для определения оптимальных рабочих условий близких к используемым в промышленности, при исследовании реакции (3) нами были выбраны такие параметры как скорость перемешивания (300, 500 и 700 об/мин), концентрация фосфорного ангидрида (25, 30 и 35 % P_2O_5) и температура (60, 70 и 80 °С). Кинетическое исследование растворения фосфатной руды в фосфорной кислоте (3) может быть выведено практически по изменению скорости растворения α в зависимости от времени. Образующиеся по реакции (3) монокальцийфосфат является растворимым веществом и переходит в раствор (фильтрат). Скорость взаимодействия реакции (3) можно отслеживать по изменению содержания СаО в фильтрате, определяемой методом атомной абсорбции.

Результаты исследования зависимости степени растворения фосфоритного концентрата от времени и скорости перемешивания (а), а также их линейаризации (б) проиллюстрированы на рисунке 4.

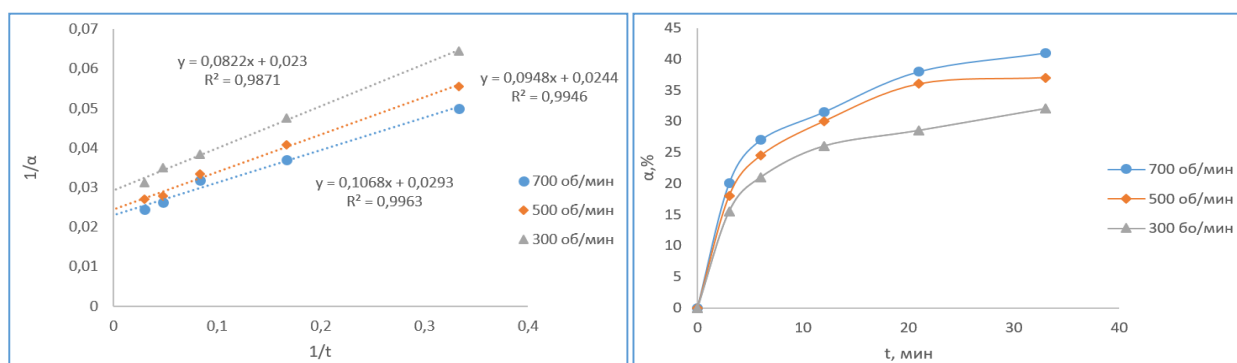


Рисунок 4. Зависимости степени растворения фосфоритного концентрата от времени и скорости перемешивания в прямых (а) и обратных координатах (б)

Как видно из кривых (а), при увеличении скорости перемешивания увеличивается скорость растворения фосфоритного концентрата. При этом, максимальная скорость растворения наблюдается до трех минут. Из линейаризованных зависимостей (б) определены максимальные значения степени растворения при исследуемых условиях. Максимальные значения составляют 34,13, 40,98 и 43,48 % для 300, 500 и 700 об/ мин, соответственно.

Было исследовано растворение фосфатного концентрата в зависимости от концентрации фосфорной кислоты при скорости перемешивания 300 об/мин и температуре 60 °С.

Полученные результаты в прямых ($\alpha=f(t)$) и обратных ($1/\alpha=f(1/t)$) координатах представлены на рисунке 5.

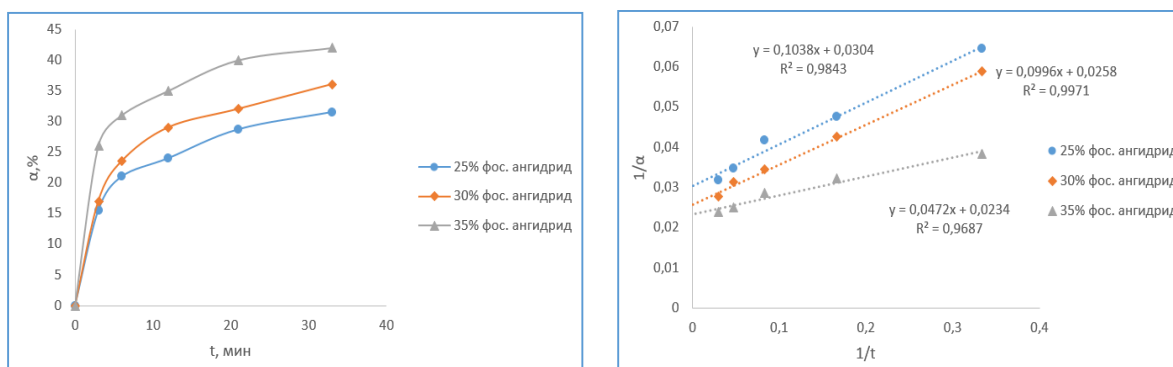


Рисунок 5. Зависимости степени растворения фосфоритного концентрата от времени и концентрации фосфорной кислоты в прямых (а) и обратных координатах (б)

Как видно из зависимостей (а), при увеличении концентрации фосфорной кислоты (фосфатного ангидрида) увеличивается степень растворения концентрата. При повышении концентрации фосфорной кислоты от 25 до 35 % в течении 33 минут степень разложения концентрата увеличивается 1,3 раза. Уравнения зависимостей в обратных координатах (б) показывает, что кривые выходят на плато при 32,89; 38,76 и 42,74 %, соответствующий содержанию фосфатного ангидрида 25; 30 и 35 %.

Также было исследовано растворение концентрата в зависимости от времени и температуры. Полученные результаты в прямых ($\alpha=f(t)$) и обратных ($1/\alpha=f(1/t)$) координатах проиллюстрированы на рисунке 6.

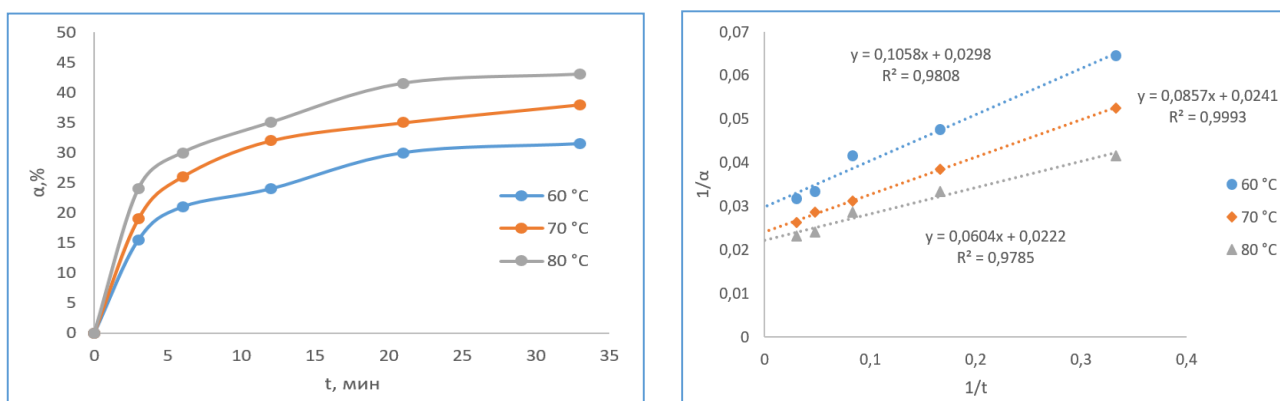


Рисунок 6. Зависимости степени растворения фосфоритного концентрата от времени и температуры в прямых (а) и обратных координатах (б)

Как видно из рисунка (а), повышение температуры благоприятно влияет на скорость растворения фосфоритного концентрата. Скорость разложения максимальна в первые три минуты, а затем, постепенно уменьшается. Из графика зависимостей в обратных координатах (б) видно, что зависимости хорошо коррелируются ($R^2 > 0,97$). Максимальное значение степени растворения

при исследуемых значениях температуры 60, 70 и 80 °С составляет 33,56 %; 41,49 и 45,05 %, соответственно.

Математическая модель кислотного разложения фосфоритного концентрата

Изучение гетерогенных процессов в системе «жидкость-твердое тело» до сих пор остаётся актуальным и их эффективное практическое применение является одной из основных задач современной химической технологии. Чтобы лучше представить скорость разложения как функцию от времени, подходящей математической моделью для представления растворения является модель сжимающегося ядра с интегрированным выражением; $1-(1-X)^{1/3}=k \cdot t$, где: X - доля прореагировавшего фосфоритного концентрата; k - кинетическая постоянная; t - время.

Эта зависимость графически представлена на рисунке 5. Параметры, выбранные для определения константы скорости и энергии активации: скорость перемешивания = 300 об/мин, 25 % P₂O₅ и температура = 60, 70 и 80 °С.

Константу скорости k определяем из кривых, дающих $1-(1-X)^{1/3}$, как функцию времени, которые должны быть линейными; наклон линий дает константу скорости для каждой температуры. Чтобы определить энергию активации E_a растворения фосфатного концентрата строим график зависимости ln(k) от температуры в обратных координатах (1000/T), (рис. 7).

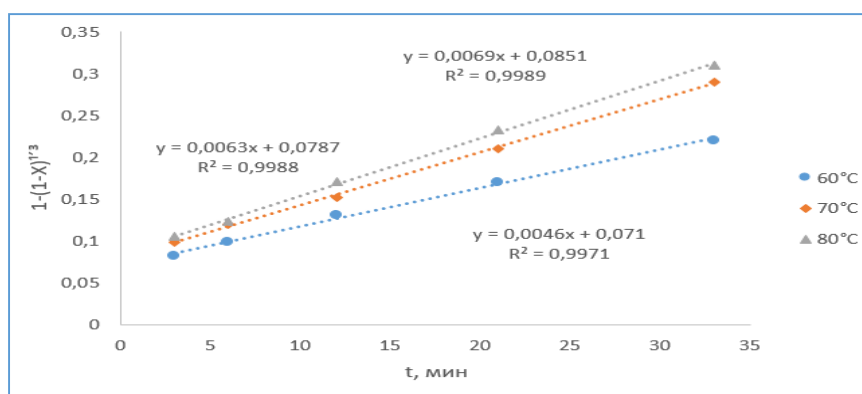


Рисунок 7. Определение констант скорости разложения фосфорита

Как видно из рисунка 7 крутизна линии зависимости k/r_0 для каждой температуры отличается и с повышением температуры увеличивается. Отметим, что прямые не проходят через начало координат, поскольку равновесие достигается быстро. Оно может происходить из-за появления другой фазы в присутствии любого изменения форм-фактора в начале разложения.

Большинство химических реакций подчиняются уравнению Аррениуса. Оно использовалось для определения влияния температуры на растворение концентрата:

$$k = k_0 e^{\frac{-E_a}{RT}},$$

Тогда логарифм кинетической постоянной является линейной функцией обратной температуры, (рис. 8).

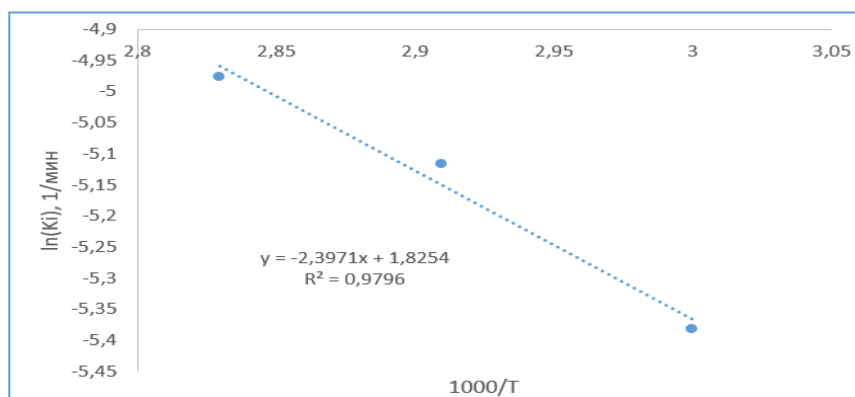


Рисунок 8. Зависимость логарифма кинетической постоянной от обратной температуры

Энергия активации растворения концентрата, рассчитанная по наклону прямой линии графика Аррениуса (рис.8), составляет 19,93 кДж / моль.

Уравнение Аррениуса можно записать в виде: $k = 6,2e^{\frac{-1992}{RT}}$.

Низкое значение энергии активации, равное 19,93 кДж / моль (4,76 ккал · моль), дает нам важное представление о кинетически сложной модели. Исследование механизма растворения фосфатного концентрата в фосфорной кислоте показывает, что, вероятно, данный процесс ограничивается диффузией ионов Ca^{2+} .

Таким образом, установлено, что скорость растворения фосфатов повышается за счет увеличения всех исследуемых параметров: температуры в интервале (60-80 °С), скорости перемешивания в диапазоне (300-700 об/мин), концентрации фосфорной кислоты в пределах (25-35 % P_2O_5) и скорости растворения - максимально в течение первых 3 минут.

Результаты полупромышленных испытаний технологии обогащения фосфоритной руды месторождения Риват

В лаборатории обогащения руд Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистан проведены полупромышленные испытания по обогащению фосфоритной руды месторождения Риват.

Исходными материалами служила фосфоритная руда месторождения Риват следующего состава (в %): Na_2O - 0,34; MgO - 0,52; Al_2O_3 - 3,10; SiO_2 - 68,20;

P_2O_5 - 5,47; SO_3 - 3,85; K_2O - 0,81; CaO - 10,86; TiO_2 - 0,15; Mn_2O_3 - 0,07 и Fe_2O_3 - 1,43. Испытания проводили на полупромышленной установке производительностью 60 кг/ч. В общей сложности методом флотации было переработано 5 000 кг фосфоритной руды с различными режимами отмывки исходной руды с целью удаления глинистых материалов с последующей флотацией. Перечисленное показало значительное улучшение технологических показателей. Флотация велась в щелочной среде, создаваемой содой. На основании проведенных предварительных исследований по флотации были установлены следующие условия: тонина помола составила 40-50 % класса «-0,063 мм»; для создания рН среды использовалась сода из расчета 3 кг/т; для депрессии пустой породы подавалось жидкое стекло в количестве 2,5 кг/т, а также в качестве собирателя олеиновая кислота в количестве 2,5 кг/т совместно с керосином 2,5 кг/т. При объединении концентратов основной флотации и контрольной с последующей перечисткой, был получен фосфоритный концентрат (фосфоритная мука) с содержанием в нем P_2O_5 24,3 % с извлечением 85,73 %.

Технологическая схема флотации представлена на рисунке 9. Результаты флотации в открытом цикле представлены в таблице 6.

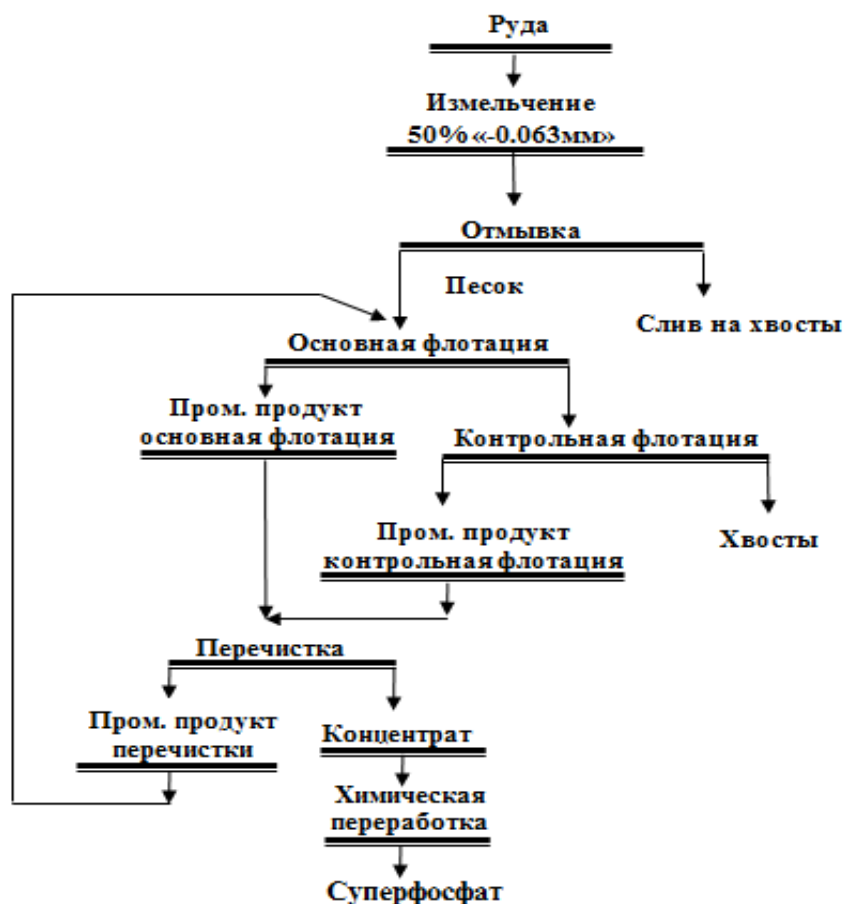


Рисунок 9. Принципиальная технологическая схема флотационного обогащения фосфоритной руды месторождения Риват

Таблица 6. Результаты флотации фосфоритной руды месторождения Риват

Наименование продуктов	Выход (γ)		Содержание (β) P_2O_5 , %	Извлечение P_2O_5 , %
	Кг	%		
Концентрат	815	16,51	24,3	85,73
Хвосты	4120	83,49	0,8	14,27
Руда	4935	100,0	4,68	100,0

Полученный концентрат подвергли химической обработке в специальном реакторе. Для химической обработки было взято 150 кг фосфоритного концентрата, 60 кг серной кислоты (98 %) и перемешивали с 80 л воды. В результате, было получено приблизительно 200 кг простого суперфосфата. Методами химического анализа установлено, что общее содержание P_2O_5 в суперфосфате составляет 18,18 %, растворимость P_2O_5 в 2 % лимонной кислоте 13,86 %, усвояемый растениями остаточный фосфор 4,10 % (ГОСТ 20851.2-75).

Таким образом, полученный суперфосфат из фосфоритовых руд Риватского месторождения по химическому составу отвечает требованию ГОСТ 5956-78.

Влияние суперфосфата, полученного из фосфоритов Риватского месторождения на технологические свойства волокна хлопчатника.

Объектами исследований служили промышленный сорт средневолокнистого хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.) с неопредельным типом ветвления Шавкат-80 селекции Института ботаники, физиологии и генетики растений АН РТ и сорт тонковолокнистого хлопчатника (*Gossypium barbadense* L.) с нулевым (предельным) типом ветвления 9326-В селекции Вахшского филиала Института земледелия Таджикской академии сельскохозяйственных наук (ТАСХН).

Минеральные удобрения в оптимальных дозах являются наиболее эффективными и действенными факторами улучшения свойств и параметров хлопкового волокна. Эффективность тех или иных вносимых минеральных удобрений под хлопчатник обычно оценивают по конечному результату-качеству волокна. В этой связи нами был проведен анализ технологических свойств волокна исследованных сортов хлопчатника.

Результаты анализа технологических свойств волокна у растений двух видов хлопчатника представлены в таблице 6.

Таблица 7. Влияние суперфосфата, полученного из фосфоритов

Риватского месторождения на технологические свойства волокна хлопчатника

Вид, сорт	Варианты	Показатели технологических свойств волокна				
		Выход волокна, %	Штапельная длина, мм	Разрывная нагрузка, гс	Метрический номер, мм/мг	Разрывная длина, км
<i>Gossypium hirsutum</i> L., Шавкат-80	Контроль	37,6±0,6	32,66±0,88	4,47±0,09	5636,6±188,17	25,1±0,47
	Опыт	39,63±0,49	33±0,57	4,77±0,12	5566,6±212,78	26,4±0,41
<i>Gossypium barbadense</i> L., 9326-B	Контроль	37,4±0,94	38±0,58	4,7±0,03	6663,3±81,71	31,1±0,32
	Опыт	37,87±0,71	38,66±0,33	4,83±0,12	6756,6±53,64	26,6±0,81

Как видно из данных представленной таблицы основные показатели, определяющие промышленную ценность сорта - выход волокна и штапельная длина у средневолокнистого хлопчатника сорта Шавкат-80 после внесения фосфорных удобрений, полученных из фосфоритов Риватского месторождения увеличиваются на 2 % и 1 мм, соответственно. У тонковолокнистого хлопчатника сорта 9326-В, эти показатели почти не изменились.

Разрывная нагрузка - показатель эластичности хлопкового волокна у сортов обоих видов хлопчатника, при внесении фосфорных удобрений, полученных из фосфоритов Риватского месторождения, почти не меняется (табл. 7.).

Метрический номер хлопкового волокна является показателем тонины волокна и косвенно характеризует количество накопленной целлюлозы в волокне. Этот показатель у средноволокнистого хлопчатника сорта Шавкат-80, по сравнению с контролем уменьшается незначительно на 80 мм/мг, а у сорта 9326-В, наоборот, увеличивается на 93 мм/мг. (табл.7).

Данные позволяют заключить, что суперфосфат, полученный из фосфоритов месторождения Риват положительно влияет на биологический и хозяйственный урожай, а также технологические свойства волокна сортов двух видов хлопчатника. Фосфоритные руды Риватского месторождения, несмотря на низкие содержания основного компонента (P_2O_5 -5-7 %) дают концентрат обогащения 28,3 %, при извлечений 89 %, которые удовлетворяют требования промышленности для изготовления фосфорных минеральных удобрений. Присутствие в них биогенных микроэлементов фосфоритовых концентрате, положительно сказываются на качество фосфорных удобрений.

ВЫВОДЫ

1. На высокотехнологичной волнодисперсионной рентгенофлуоресцентном спектрометре S8 TIGER (Германия) проведен анализ средней пробы фосфатной руды месторождения Риват и продуктов ее обогащения. Установлено, что основными составляющими руды являются кварц-фосфоритовые песчаники желтовато-серого цвета с включением зерен и редких желваков фосфоритов, мелкозернистого кварца и глинистой фракции.
2. Проведено флотационное обогащение фосфатной руды. Разработан оптимальный реагентный режим процесса флотации, позволяющий получить кондиционный фосфоритовый концентрат с содержанием оксида фосфора (V) больше 27 % извлечением 89 % фосфатов из руды.
3. Предложена технологическая схема комбинированного флотационного обогащения фосфоритной руды месторождения Риват с возможностью получения кондиционного флотоконцентрата, содержащего более 24 % целевого компонента.
4. Путем сернокислотного разложения получен простой суперфосфат из разработанных фосфоритных концентратов. Рассчитаны термодинамические параметры процесса разложения и установлена температурная зависимость константы равновесия протекающих реакций. Разработана математическая модель взаимодействия фосфатной руды с фосфорной кислотой. Определены кинетические параметры: константа (k) и энергия активации (Ea), которая равна 19,93 кДж/моль и свидетельствует о протекании реакции в диффузионной области.
5. Проведены полупромышленные испытания по обогащению бедной (5,0 %) фосфоритной руды месторождения Риват. Получена фосфоритная мука с содержанием P_2O_5 24,3 % с извлечением целевого компонента в концентрат до 85,73 %.
6. В Институте ботаники, физиологии и генетики растений НАНТ на двух видах хлопчатника проведены агрохимические испытания полученных простых суперфосфатов. Установлено, что внесение в почву суперфосфата с содержанием P_2O_5 18 %, положительно влияет на морфобиологические, фотосинтетические показатели и технологические качества волокна хлопчатника. Даны рекомендации по использованию этих удобрений в полевых условиях.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации

1. **Курбонов, Ш.А.** Исследование кинетики растворения фосфатного концентрата Риватского месторождения / Ш.А. Курбонов, Б.А. Обидов, Х.И. Холов, Ш.Р. Самихов // - Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Химия».- 2022.- Т. 15.- № 4.- С. 548-559. (SCOPUS Q-4).

2. **Курбонов, Ш.А.** Расчет значений термодинамических функций процесса сернокислотного разложения фосфоритного концентрата месторождения Риват Таджикистана / Ш.А. Курбонов, Б.А. Обидов, Ш.Р. Самихов, Х.И. Холов // - Вестник Тверского государственного университета. Серия «Химия».- 2021.- № 2 (44).- С. 37-44.

3. **Курбонов, Ш.А.** Флотация фосфоритовой руды с помощью олеиновой кислоты / Ш.А. Курбонов, М.С. Исмоилова, Ш.Р. Самихов // - Вестник Таджикского технического университета. Серия Инженерные исследования.- 2019.- № 1 (45).- С. 156-160.

4. **Курбонов, Ш.А.** Действие суперфосфата, изготовленного из фосфоритов месторождения Риват, на морфофизиологические показатели и технологические качества волокна хлопчатника / **Ш.А. Курбонов**, Ш.Р. Самихов, Ф.М. Тошов, Б.А. Солиева, Х.А. Абдуллаев // Доклады АН РТ.- 2019.- Т.62.- №5-6.- С. 344-349.

5. Самихов, Ш.Р. Изучение обогащения фосфатной руды месторождения Риват / Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко, **Ш.А. Курбонов**, С.Ш. Сафаров, М.С. Исмоилова, Л.Г. Горенкова // Доклады АН РТ.- 2018.- Т. 61.-№ 2.- С. 190-193.

6. **Курбонов, Ш.А.** Минералогический состав фосфоритных руд месторождений Риват и Каратаг / Ш.А. Курбонов, М.И. Ходжахон, Х. Кабгов З.К. Мухидинов, В.Дж. Абулхаев, Ш.Р. Самихов, Ф. Рахими // Доклады АН РТ.- 2017.- Т. 60.- №7-8.- С. 349-355.

Изобретение по теме диссертации

1. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 953 Способ флотационного обогащения фосфоритов / **Курбонов Ш.А.**, Самихов Ш.Р., Исмоилова М.С., Горенкова Л.Г., Мухидинов З.К. // № 1801176; заявл. 13.02.18; опубл. 19.11.18.

Публикации в материалах международных и республиканских конференций

1. **Курбонов, Ш.А.** Кинетика растворения фосфатного концентрата Риватского месторождения / Ш.А. Курбонов, Б.А. Обидов, Х.И. Холов, Ш.Р. Самихов // Мат. Республиканской научно-практической конференции – XVII-

Нумановских чтений «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке».- Душанбе.- 26 октября 2022.- С. 90-94.

2. Самихов, Ш.Р. Полупромышленные испытания бедных руд месторождения Риват / Ш.Р. Самихов, **Ш.А. Курбонов**, М.С. Исмоилова, С.Ш. Сафаров // Мат. Республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии производства одинарных, комплексных и органоминеральных удобрений».- Ташкент.- 13-14 декабря 2022. - С. 98-99.

3. **Курбонов, Ш.А.** Термодинамические функции процесса сернокислотного разложения фосфоритного концентрата / Ш.А. Курбонов, Б.А. Обидов, Ш.Р. Самихов, Х.И. Холов, С.Ш. Сафаров // Мат. Республиканской научно-практической конференции – XVI-Нумановских чтений «Достижение химической науки за 30 лет государственной независимости Республики Таджикистан».- Душанбе.- 27 октября 2021.- С. 143-147.

4. **Курбонов, Ш.А.** Обогащение фосфоритных руд Риватского месторождения Республики Таджикистан / Ш.А. Курбонов, Ш.Р. Самихов, М.С. Исмоилова, С.Ш. Сафаров, З.К. Мухидинов, Ф.Х. Хакимов // Научный вестник СамГУ, специальный выпуск, материалы Международной конференции.– Самарканд.- 2021.- С. 145-146.

5. Тошов, Ф.М. Технология сернокислотного разложения фосфоритов / Ф.М. Тошов, Ш.Р. Самихов, **Ш.А. Курбонов**, М.С. Исмоилова, С.Ш. Сафаров // Материалы III международной научно-практической конференции «Развитие химической науки и области их применения» – Душанбе.- 10 ноября 2021.- С. 241-244.

6. Тошов, Ф.М. Кислотное разложение фосфорсодержащих концентратов / Ф.М. Тошов, **Ш.А. Курбонов**, М. Назирмадзода, Ш.Р. Самихов // Мат. Республиканской научно-практической конференции «Научно-инновационная деятельность поколения независимости», (для студентов, магистрантов, аспирантов, докторантов и соискателей).– Бустон.- 19 мая 2021.- С. 54-57.

7. **Kurbanov, Sh.A.** Enrichment of the rivat deposite phosphorite ores in the republic of Tajikistan / Sh.A. Kurbanov, Sh.R. Samikhov, M.S. Ismailova, S.Sh. Safarov, Z.K. Muhidinov, F.Kh. Khakimov // Central Asian Journal of Medical and Natural Sciences. Volume: 01 Issue: 03.- Sep-Oct 2020.- ISSN: 2660-4159.- P. 26-29.

8. **Курбонов, Ш.А.** Действие суперфосфата на технологические свойства волокна хлопчатников / Ш.А. Курбонов, Ш.Р. Самихов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Геологические и маркшейдерские проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых»–Бустон.- 25 января 2020.- С. 66-68.

9. Тошов, Ф.М. Особенности кислотной переработки фосфатного сырья Риватского месторождения / Ф.М. Тошов, Ш.Р. Самихов, **Ш.А. Курбонов**, С.А. Алифшоева, М.С. Исмоилова, С.Ш. Сафаров // Сборник материалов XV Нумановских чтений «Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве республики Таджикистан».- Душанбе.- 24 ноября 2019.- С. 46-48.

10. **Курбонов, Ш.А.** Зависимость флотация фосфоритов от концентрации олеиновой кислоты / Ш.А. Курбонов, Ш.Р. Самихов, М.С. Исмоилова, Л.Г. Горенкова // Мат. республиканской научно-практической конференции «Проблемы металлургической отрасли, строительства, маркшейдерского дела и пути их решения на современном этапе».- Бустон.- 1 декабря 2018.- С. 63-65.

11. Самихов, Ш.Р. Характеристика и обогащение руды месторождения Риват / Ш.Р. Самихов, **Ш.А. Курбонов**, М.С. Исмоилова, Л.Г. Горенкова, З.К. Мухидинов // Мат. Республиканской научно-практической конференции «Проблемы горно-металлургической промышленности республики Таджикистан и пути их решения».- Душанбе.- 16-18 апреля 2018.- С. 59-62.

12. **Курбонов, Ш.А.** Основные свойства и области применения фосфоритов / Ш.А. Курбонов, Ш.Р. Самихов, М.С. Исмоилова, Л.Г. Горенкова, А.Бобоев // Мат. Республиканской научно-практической конференции “Проблемы переработки месторождений полезных ископаемых”.- Бустон.- 2018.- С. 55-56.

13. **Курбонов, Ш.А.** Обогащение фосфоритных руд / Ш.А. Курбонов, Ш.Р. Самихов, М.С. Исмоилова, Л.Г. Горенкова, З.К. Мухидинов // Сб. мат-лов XIV Нумановских чтений. Вклад молодых учёных в развитие химической науки, посвящённые “Году молодёжи”.- Душанбе.- 2017.- С. 36-38.

14. **Курбонов, Ш.А.** Получение фосфоритовых концентратов из Риватского месторождения / Ш.А. Курбонов, Ш.Р. Самихов, М.С. Исмоилова, З.К. Мухидинов // Мат. Республиканской научно-практической конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана».- Душанбе.- 2017.- С. 28-30.

15. Самихов, Ш.Р. Флотационно-химическое обогащение Таджикских фосфоритных руд / Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко, **Ш.А. Курбонов** // Мат. VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием.- Иркутск.- 2017.- С. 204-207.

16. Зинченко, З.А. Исследования по технологии обогащения фосфоритной руды Риватского месторождения / З.А. Зинченко, М.С. Исмоилова, Ш.Р. Самихов, **Ш.А. Курбонов**, Л.Г. Горенкова // Сб. мат-лов XIII Нумановских чтений «Достижения химической науки за 25 лет государственной независимости Республики Таджикистан».- Душанбе.- 2016.- С. 170-172.