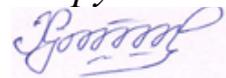


НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ГНУ «ИНСТИТУТ ХИМИИ ИМ. В.И. НИКИТИНА»

На правах рукописи



КАРАМБАХШОВ ХОШИМ ЗАЙРШОЕВИЧ

**ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФОРИТОВЫХ РУД С
ПОЛУЧЕНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Специальность

2.6.7 – технология неорганических веществ

АВТОРЕФЕРАТ

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

Душанбе- 2025

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

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Обогащения руд» ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана» - **Самихзода Шонавруз Рахим**

Официальные оппоненты: **Гайбуллаева Зумрат Хабибовна** - доктор технических наук, доцент кафедры «Технология химического производства» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

Бобоёров Мехровар Диловарович - кандидат химических наук, заведующий Научно-исследовательским отделом Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана.

Ведущая организация: Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт металлургии» Открытого Акционерного Общества «Таджикская Алюминиевая Компания» (ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО»).

Защита состоится «19» января 2026 года в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 73.1.002.02 при ГНУ «Институт химии им. 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 «_____» _____ 2025 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета, кандидат
химических наук**

Халикова Л.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Страна, располагающая собственной сырьевой базой, рассматривает производство минеральных удобрений, в том числе фосфорных и особенно комплексных НРК-удобрений, как стратегический приоритет.

В этой связи, Республика Таджикистан находится в двойственной позиции. С одной стороны, аграрный сектор формирует более 22 % ВВП и обеспечивает занятость значительной доли населения, а природные почвенно-климатические условия предопределяют дефицит подвижного фосфора в большинстве возделываемых земель. С другой - страна целиком зависит от импорта фосфорных удобрений. Нехватка фосфора в почве неизбежно снижает урожайность высокорентабельных культур - хлопчатника, сахарной свёклы, плодоовощной продукции и уменьшает экспортный валютный поток.

Одновременно Таджикистан располагает значительными, но слабокондиционными запасами фосфоритов карбонатно-апатитовой природы, среди которых Риватское месторождение обладает уникальным сочетанием факторов: низкая горнотехническая сложность (рудоносные песчаники и песчанистые фосфориты залегают близ дневной поверхности), благоприятная гранулометрия для грохочения и флотационного извлечения, а также присутствие микроэлементного «пакета» (Fe, Mn, Zn), повышающего агрохимическую ценность конечного удобрения. Геологоразведочные работы подтверждают ресурсы порядка 60 млн. т. руды с текущими балансовыми запасами 22 млн. т. при среднем содержании 5–7 % P_2O_5 . При реализации даже умеренной программы доведения концентрата до 26–28 % P_2O_5 потенциальный эксплуатационный срок карьера превышает 25 лет при годовой добыче 0,5 млн т. фосфоритов. Этого достаточно, чтобы полностью заменить импортный суперфосфат и частично закрыть потребность в комплексных удобрениях хлопководческого и плодоводческого секторов аграрных хозяйств.

Выбор комплексного удобрения обусловлен тем, что одностороннее фосфорное питание редко даёт прибавку урожая без синергии с азотом и калием. Для Таджикистана, импортирующего подавляющую часть калийных и азотных туков, интеграция их в единый гранулированный продукт снижает транспортные расходы, облегчает механизированное внесение и улучшает распределение питательных элементов. Учитывая высокую долю хлопковых

культур в севообороте (до 37 % пашни) и их требовательность к балансу NPK, запуск локального производства комплексных туков приобретает высокую значимость. Кроме того, географическая близость Ривата к узлам железнодорожной сети (Согдийская ветка) обеспечивает логистическое преимущество перед импортом из дальнего зарубежья.

Таким образом, совокупность факторов - глобальная нестабильность рынка фосфатов, стратегическая зависимость таджикского АПК от фосфорного питания, наличие собственной сырьевой базы, востребованность комплексных NPK-удобрений и необходимость экологически приемлемых технологий - формируют высокую **актуальность темы** диссертационной работы. Решение поставленной задачи будет способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства Таджикистана, снижению импортозависимости и укреплению продовольственной безопасности в долгосрочной перспективе.

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

Целью настоящей работы является научное обоснование и разработка физико-химических принципов переработки фосфоритового сырья Риватского месторождения для получения эффективных гранулированных комплексных удобрений типа NPK, адаптированных к агрохимическим и климатическим условиям аграрной промышленности Республики Таджикистан.

Для достижения цели были решены следующие научные задачи:

1. Исследование геолого-минералогического строения и физико-химических свойств фосфоритных руд Риватского месторождения Таджикистана.

2. Разработка оптимального способа флотационного обогащения фосфоритного сырья Риватского месторождения.

3. Анализ термодинамических закономерностей процессов кислотного разложения фосфоритных концентратов.

4. Определение оптимальных параметров технологии синтеза комплексных гранулированных NPK-удобрений с использованием кислотно-вскрытого фосфоритного концентрата.

5. Исследование физико-химических составов NPK-удобрений методами рентгенодифрактометрии и сканирующей электронной микроскопии.

6. Комплексная оценка агрохимической эффективности NPK-удобрений в полевых условиях на хлопчатнике сорта «Вахдат-20».

Научная новизна работы:

- В диссертации впервые проведено комплексное исследование бедных фосфоритовых руд Риватского месторождения, выявлены их физико-химические и минералогические особенности, влияющие на эффективность переработки.
 - Разработана и научно обоснована оптимальная схема флотационного обогащения фосфоритов без предварительных гравитационно-магнитных стадий, обеспечивающая получение концентрата с содержанием 26–28 % P_2O_5 при высоком извлечении фосфора.
 - Установлены термодинамические закономерности кислотного вскрытия Риватского концентрата азотной кислотой, определены оптимальные параметры процесса (рН, температура, дисперсность частиц), обеспечивающие максимальное извлечение P_2O_5 .
 - Предложена технологическая схема синтеза и грануляции NPK-удобрений на основе полученного концентрата. Доказана их высокая агрохимическая эффективность при выращивании хлопчатника сорта «Вахдат-20».
 - Проведено технико-экономическое обоснование предлагаемой технологии, подтвердившей её целесообразность и потенциал для локального импортозамещения фосфорных удобрений.

Теоретическая значимость работы.

Теоретические аспекты данного исследования используются и внедрены в учебный процесс при чтении лекций, проведении лабораторных работ, написании научных, дипломных работ, рефератов по предметам химической технологии, агрохимии, технология обогащения руд и минеральных удобрений.

Практическая значимость работы.

Полученные в работе результаты имеют прикладную ценность, поскольку формируют общую, полноценную, методическую и технологическую основу для использования бедных фосфоритовых руд Риватского месторождения в промышленный оборот. Разработанная схема флотационного обогащения обеспечивает концентрат 26–28 % P_2O_5 при извлечении ≥ 85 %, что позволяет использовать существующий парк отечественного флотационного оборудования и уменьшить расход анионных коллекторов на ~20 %

по сравнению с действующими аналогами. Экспериментально обоснованные параметры азотнокислотного вскрытия ($T \approx 75 \text{ }^\circ\text{C}$, pH 1,8–2,2, $d_{80} \leq 0,16 \text{ мм}$) гарантируют извлечение $> 90 \%$ P_2O_5 , сокращая удельный расход кислоты на 12–15 %. Разработанная схема и режим грануляции комплексных NPK-удобрений (массовое соотношение, физико-механические свойства, растворимость) адаптированы к серозёмам северного Таджикистана, что подтверждено полевыми испытаниями на хлопчатнике сорта «Вахдат-20». Урожай хлопка-сырца повысился на 14–18 %, а качество волокна улучшилось в 1,2–1,5 раз за счет повышения разрывной способности, что дало в конечном итоге и увеличение длины волокна (м). Кроме того, локализация производства снизило транспортный углеродный след удобрений на 35–40 % относительно импорта из дальнего зарубежья. Представленные технологические регламенты, описанные в работе, могут служить базой для проектирования опытно-промышленной линии и разработки национальных стандартов комплексных удобрений из местного сырья. Так можно обеспечить устойчивое развитие агропромышленного комплекса (АПК) Республики Таджикистан и экспортного потенциала в сопредельные хлопководческие регионы.

Реализация результатов диссертационной работы.

1. Диссертационная работа выполнена согласно НИР лаборатории «Обогащения руд» ГНУ «Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана, «Физико-химические и технологические основы переработки фосфорсодержащих руд месторождения Риват Республики Таджикистан» (номер государственной регистрации № 0121 TJ 1146).

2. Проведён агрохимический опыт с применением синтезированных NPK-удобрений на хлопчатнике сорта «Вахдат-20», подтверждённая значительным повышением урожайности и улучшением качества волокна по сравнению с традиционно используемыми удобрениями. Акт испытаний прилагается.

3. Результаты работы включены в учебный процесс дисциплины «Технологии минеральных удобрений» на химическом факультете Таджикского национального университета (направление подготовки 48010100) при чтении лекций и проведении лабораторных занятий.

Основные положения, выносимые на защиту.

На защиту выносятся следующие научные и практические положения:

- Научно обоснованная схема флотационного обогащения бедных карбонат-апатитовых руд Риватского месторождения, позволяющая

получать концентрат с содержанием 26–28 % P_2O_5 при высоком извлечении фосфора и минимальном расходе реагентов.

- Установленные закономерности и оптимальные параметры сернокислотного вскрытия фосфоритного концентрата (температура около $75^{\circ}C$, значение рН среды 1,8–2,2 и размер помола $d_{80} \leq 0,16$ мм), обеспечивающие высокое извлечение фосфора при минимальном образовании гипсовой пассивации.
- Разработанные технологические условия и схема синтеза гранулированных комплексных NPK-удобрений на основе кислотно-обработанных концентратов, обеспечивающие заданные агрохимические и физико-механические характеристики продукта.
- Агрохимическая эффективность полученных комплексных удобрений при выращивании хлопчатника сорта «Вахдат-20», подтверждённая значительным повышением урожайности и улучшением качества волокна по сравнению с традиционно используемыми удобрениями.
- Техничко-экономическое обоснование целесообразности предложенной технологии переработки местного фосфоритного сырья, доказывающее её конкурентоспособность и возможности импортозамещения минеральных удобрений в условиях Республики Таджикистан.

Эти положения обладают большой значимостью для развития химической технологии и аграрного сектора страны.

Методология и методы исследования.

Методологической основой диссертационной работы послужил системный подход, охватывающий этапы от изучения минерального сырья до получения и оценки конечного продукта - комплексного удобрения. В исследовании использованы как теоретические, так и экспериментальные методы, соответствующие современным требованиям технологии неорганических веществ.

Для изучения минерального и химического состава руд применялись методы рентгенофазового и спектрального анализов, электронно-микроскопических исследований. Флотационные испытания проводились в лабораторных условиях с варьированием режимов и дозировок реагентов. Методика кислотного разложения фосфоритного концентрата включала определение оптимальных значений рН, температуры, соотношения твёрдой и жидкой фаз. Синтез и гранулирование NPK-удобрений выполнялись на лабораторной установке с контролем физико-химических показателей полученного продукта. Агрохимическая эффективность

оценивалась в условиях полевого эксперимента с учётом морфологических и продуктивных характеристик хлопчатника.

Степень достоверности работы. Для обеспечения достоверности результатов работы, выводов и рекомендаций используются современные физико-химические методы исследования, статистическая обработка результатов по компьютерным программам до хорошей воспроизводимости данных.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на: Международной научно-технической конференции, XIV Ломоносовских чтениях «Роль филиала Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в городе Душанбе в развитии науки и образования» (Душанбе, 2024); III ежегодной Международной научно-технической конференции «Развитие национальной промышленности и геологии Таджикистана за годы независимости страны», посвящённой Дню таджикской геологии (Душанбе, 2024); научно-практической конференции молодых учёных, посвящённой объявлению 2024 года «Годом правового просвещения» (Душанбе, 2024); Республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвящённой провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 «Годами развития промышленности» и посвящённой памяти заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, д.х.н., профессора Лутфулло Солиева (Душанбе, 2025); I-ой Республиканской научно-практической конференции «Роль молодого учёного в развитии науки, инноваций, цифровой экономики и национального государственного управления» (Душанбе, 2025); Международной научно-практической конференции «Роль естественно-математических и точных наук в развитии инновационных технологий и цифровой экономики» (Дангара, 2025).

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.

Соответствие паспорту специальности. Тема соответствует паспорту специальности 2.6.7 – технология неорганических веществ

по пунктам:

1 п. «Технологические процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты» (раздел 3.5, глава 3 настоящей работы). 2 п. «Явления переноса тепла в веществах в связи с химическими превращениями в технологических процессах. Кинетика и термодинамика химических и межфазных превращений» (разделы 2.6.6, 2.6.7, 3.4; главы 2-3 работы). 3 п. «Механические процессы изменения состояния, свойств и формы сырья материалов и компонентов в неорганических технологических процессах» (разделы 2.4, 2.6, 3.5; главы 2-3 работы). 4 п. «Способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов, вторичных материальных ресурсов (отходов производства и потребления) в неорганические продукты» (разделы 2.4, 3.1; главы 2-3 работы). 6 п. «Свойства сырья и материалов, закономерности технологических процессов для разработки, технологических расчетов, проектирования и управления химико-технологическими процессами и производствами» (разделы 2.1, 2.2, 3.3; главы 2-3 работы).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 11 научных работ, из них 5 статьей в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 6 тезисов докладов на Международных и Республиканских конференциях.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав и заключения. Она изложена на 150 страницах машинописного текста, содержит 14 таблиц, 16 рисунков, приложение и список использованной литературы, включающий 160 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулированы цель 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 NPK-удобрений, на основании которых намечаются направления

собственных исследований. Рассмотрены практические аспекты использования азотнокислотного 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 и химико-минералогический состав исходной руды Риват. Фосфорит Ривата - это песчано-глинистая порода с умеренно высоким содержанием кальция и кремния, низкой долей фосфора и заметной примесью карбонат- и сульфат-ионов. Для оценки технологической пригодности руды важно понимать, как распределены главные, второстепенные и минорные оксиды, поскольку именно их соотношение определяет выбор схемы обогащения, расход реагентов и качество конечного концентрата. В таблице 1 приведён обобщённый (средневзвешенный) оксидный состав Риватской руды по результатам полного силикатного анализа. Эти данные служат базовой «химической визитной карточкой» месторождения.

Таблица 1 - Химический состав фосфоритовой руды месторождении Риват

№, п/п	Компонент	Массовая доля, %	№, п/п	Компонент	Массовая доля, %
1.	SiO ₂	20,46	8.	TiO ₂	0,06
2.	Al ₂ O ₃	2,52	9.	CO ₂	3,18
3.	SO ₃	8,93	10.	Fe ₂ O ₃	4,53
4.	Mn ₂ O ₃	0,21	11.	P ₂ O ₅	8,20
5.	CaO	33,18	12.	MgO	1,42
6.	K ₂ O	0,51	13.	(ОН)	2,84
7.	Na ₂ O	1,28			

SO₃ (9,61 %) формирует сульфат-карбонат-фтор-апатитовую структуру. Высокая доля CaO (34,40 %) наряду с CO₂ (2,14 %) и (ОН) (3,05 %) указывает на преобладание карбонат- и гидроксизамещённых разновидностей апатита, а также на присутствие вторичных кальцит-доломитовых цементов. В общем, для фосфоритов характерны палеогеновые морские бассейны.

SiO₂ (18,96 %) вместе с Al₂O₃ (1,95 %) и K₂O (0,38 %) отражает значительную долю терригенных компонентов - кварца, ортоклаза и плагиоклазов. Эти крепкие минералы образуют зернистый каркас породы, повышая привлекательность руды и повышая её стоимость за сильное измельчение.

Относительно низкое содержание P₂O₅ (8,20 %) относит руду к бедным фосфоритам. Коэффициент CaO / P₂O₅ ≈ 4,20 доказывает избыток кальция по отношению к фосфору и предполагает заметное изоморфное замещение PO₄³⁻- групп карбонат- и сульфат-ионами. Такая химия усложняет прямое кислотное разложение, увеличивая расход реагента и требуя многостадийного обогащения.

Компоненты железа и марганца представлены умеренно (Fe₂O₃ 2,15 %, Mn₂O₃ 0,11 %). Гематит, дендритовые гидроокислы и дисперсные сидерито-/манганитовые включения придают породе буро-зелёную пигментацию, но при выщелачивании способны переводить Fe³⁺/Mn⁴⁺ в раствор, снижая качество фосфорной кислоты.

Na₂O (1,06 %) в сочетании с высоким SO₃ подтверждает присутствие натрий-сульфат-апатита. Натрий стабилизирует структуру кристалла, но одновременно ухудшает фильтруемость пульпы и повышает коррозионную активность растворов.

Минералогическая руда представлена каркасом из кварца (~49 %) и ортоклаза (~35 %). Фосфатная часть приходится на аморфные диодохит (5,1 %) и даллит (8,8 %), тогда как глинистая фракция - на монтмориллонит (19,3 %). Кальцит (8,3 %) формирует цемент и буферно нейтрализует часть кислоты при выщелачивании, одновременно повышая Mg + Ca - содержание конечного удобрения.

Лабораторная установка для синтеза NPK-удобрений (рис. 1) работает циклически и размещается в вытяжном шкафу. Исходные навески размолотого фосфатного сырья загружают в стеклянный реактор 1 объёмом 1–2 л; корпус реактора помещён в водяной термостат 12, поддерживающий температуру процесса с точностью ±0,5 °С. Перемешивание обеспечивает якорная мешалка 4, вращаемая регулируемым приводом 3 (диапазон 50–600 об·мин⁻¹), что гарантирует однородность суспензии даже при повышенной вязкости.

Разлагающую кислоту (HNO₃) на стадии вскрытия, а также водный раствор NH₃ на стадии аммонизации подают из делительной воронки 2; её градуированная шкала позволяет задавать расход реагента с шагом 0,5 мл. Температуру реакционной массы контролирует стеклянный ртутный термометр 5, опущенный в защитную гильзу. При интенсивном выделении CO₂ и паров кислоты

образуется пена, которую отсекается 6 возвращает обратно в реактор и предотвращает вынос аэрозоля.

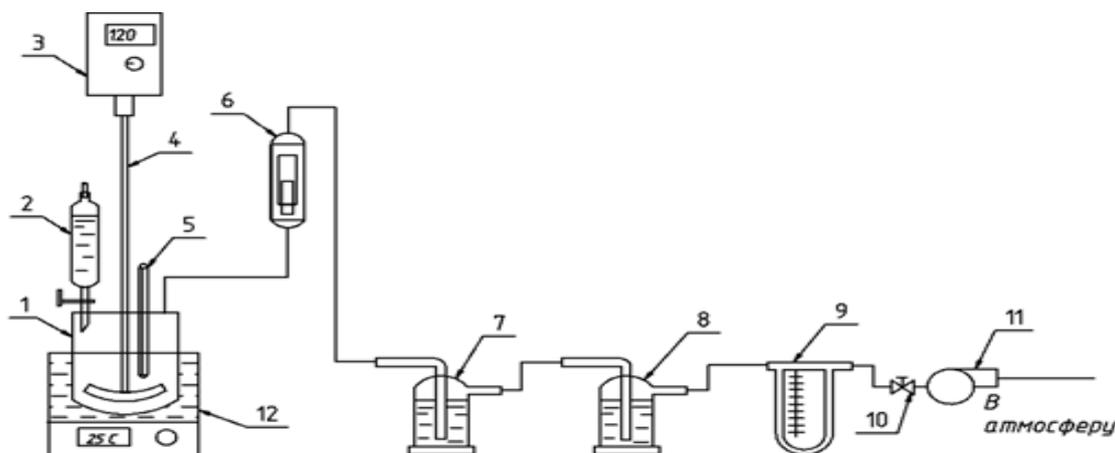


Рисунок 1 - Лабораторная установка. 1 – реактор; 2 – делительная воронка; 3 – привод мешалки; 4 – мешалка; 5 – термометр; 6 брызгоотбойник; 7, 8 – склянки Дрекслея; 9 – расходомер; 10 – кран; 11 – насос; 12 – термостат.

Газовая фаза проходит через две последовательно соединённые склянки Дрекслея 7 и 8: первая задерживает капельно-жидкие выбросы, вторая доочищает поток до санитарных норм. Постоянный вытяжной режим поддерживает мембранный насос 11, связанный с системой через кран 10 и ротаметр 9, позволяющий устанавливать расход $0,5\text{--}2,0\text{ л мин}^{-1}$.

По окончании реакции пульпу выгружают через сливной патрубков в поддон из тефлона, затем сушат при $60\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ до влажности $\leq 2\%$ и направляют на лабораторное гранулирование (роликовый гранулятор, $120\text{ об}\cdot\text{мин}^{-1}$). Полученные гранулы анализируют на содержание N, P_2O_5 и K_2O методами, описанными выше, что позволяет оперативно корректировать состав следующей серии.

Таким образом, узлы 1–12 образуют компактный модуль, где сочетаются дозирование реагентов, температурный контроль, эффективное газоочистное траппирование и возможность в-line-мониторинга pH, что делает установку удобной для исследования технологических режимов переработки бедных фосфоритов в полнорационные NPK-удобрения.

В третьей главе диссертации приведены результаты и расчеты опытов по переработке фосфорсодержащих руд месторождения Риват методом флотации, исследование термодинамики и процессов азотнокислотного разложения концентрата.

Фосфоритовые руды являются основным источником фосфора, который используется в производстве минеральных удобрений и других химических продуктов. Одним из наиболее эффективных

методов является флотационное обогащение, позволяющее выделять фосфатные минералы из руд с низким содержанием P_2O_5 . Для проведения флотационных исследований были использованы образцы фосфоритовой руды месторождения Риват с содержанием P_2O_5 4,8-5,8 %. Образцы руды предварительно измельчались до крупности, обеспечивающей эффективную флотацию.

Первоначальные опыты по флотации проводились согласно разработанной нами схемы (рис. 2), которая включала основную и контрольную флотации. Для повышения содержания фосфатов в концентрате и оптимизации расхода реагентов была проведена переработка концентратов основной и контрольной флотации, что позволило достичь оптимальных результатов.

Особое внимание уделялось подбору оптимальных дозировок реагентов. В частности, расход олеиновой кислоты варьировался в пределах от 1 до 4 кг/т. По результатам исследований было установлено, что оптимальный расход данного реагента составляет 3 кг/т (табл. 2).



Рисунок 2 - Схема флотации фосфоритовой руды месторождения Риват

Таблица 2 - Результаты флотации фосфоритовой руды месторождения Риват

№ опыта	Навеска руды, кг/т	Расход соды, кг/т	Расход керосина, кг/т	Расход олеиновой кислоты, кг/т	Извлечение, %
1.	250	3,0	3,0	2,0	75,30
2.				2,5	78,14
3.				3,0	88,68
4.				3,5	83,74
5.				4,0	82,35

Аналогично были проведены опыты по подбору оптимального расхода керосина, который использовался в качестве дополнительного реагента. Результаты показали, что расход керосина в 3 кг/т является наиболее эффективным (табл. 3).

Таблица 3 - Результаты флотации фосфоритовой руды месторождения Риват

№ опыта	Навеска руды, г	Расход реагента керосина, кг/т	Степень извлечения, %
0	250	0	0
1		0,5	41,51
2		1,0	65,30
3		1,5	79,61
4		2,0	87,14
5		2,5	90,21
6		3,0	91,17

Для создания оптимальных условий флотации и контроля уровня рН среды использовалась сода, которая подавалась в головную часть флотационной установки. Проведённые эксперименты позволили установить, что оптимальный расход соды составляет 3 кг/т (табл. 4).

Кроме того, для подавления флотируемости пустой породы применялось жидкое стекло, которое также подавалось в головную часть установки в количестве 1 кг/т. Это позволило улучшить селективность процесса и снизить извлечение нежелательных примесей.

Таблица 4 - Результаты флотации фосфоритовой руды месторождения Риват

№ опыта	Навеска руды, г/т	Расход соды, кг/т	Расход основного масла, г/т	Извлечение, %
0	250	0	160	0
1		1,0		54,14
2		2,0		84,12
3		2,5		90,15
4		3,0		92,31

Результаты проведённых экспериментов продемонстрировали хорошую эффективность предложенной методики обогащения фосфоритов месторождения Риват. Применение олеиновой кислоты и керосина в качестве собирателей и пенообразователей позволило достичь извлечения P_2O_5 на уровне 88,7 %. Этот результат является весьма высоким для исходной руды с содержанием фосфатов 4,8-5,8 %.

Одним из ключевых выводов, полученных в ходе исследования, является то, что увеличение времени флотации свыше 10 минут нецелесообразно, поскольку это не приводит к улучшению показателей извлечения.

Таким образом, предложенная технологическая схема переработки фосфоритов, включающая использование олеиновой кислоты, керосина, соды и жидкого стекла, продемонстрировала свою эффективность. Полученный фосфатный концентрат имеет содержание P_2O_5 - 28,3 %, с извлечением 88,7 %, что делает его пригодным для дальнейшего использования в производстве фосфорных удобрений и других продуктов на основе фосфоритов (табл. 5).

Таблица 5 - Результаты флотации фосфоритовой руды в открытом цикле

Наименование продуктов	Выход		Содер. P_2O_5 , %	Извлечен. P_2O_5 , %	Условия опыта
	г	%			
Концентрат III	40	16,13	28,2	88,68	Сода -3 кг/т; Жид.стек. -1 кг/т; Олеин. к-та. - 3,0 кг/т; Керосин -3 кг/т; Сосновое мас. - 240 г/т
Пром. прод. после I-ой очистки	16	6,45	2,96	3,71	
Пром. прод. после II-ой очистки	5	2,02	10,08	3,95	
Хвосты III	187	75,40	0,25	3,66	
Руда	248	100,00	5,15	100	

Разработка и исследование технологий получения NPK-удобрений на основе фосфоритных концентратов Риватского месторождения

Полученные фосфоритовые концентраты были использованы для получения NPK-удобрений. С этой целью были проведены ряд исследований.

В методике изложены полный цикл получения NPK-удобрений от кислотного разложения сырья до получения готового продукта с учётом влияния концентрации HNO_3 и времени разложения. Ниже приведены результаты исследования синтезированных образцов с применением микроструктурного, элементного, рентгенофазового анализов, а также их данные по грануляции и физико-химическим свойствам.

Микроструктура и элементный состав

На рисунках 3 и 4 представлены электронно-микроскопический спектр элементного состава твердой фазы, полученной после разложения NPK-удобрения. Энергодисперсионный анализ (EDS) отчетливо выявляет основные элементы - P, K, Ca, Fe, Si и подтверждает формирование ряда фосфатных фаз, критически важных для поддержания агрохимической эффективности. Интенсивности соответствующих пиков указывают на сбалансированное соотношение данных элементов, свидетельствуя о химической природе удобрения и его пригодности для сельскохозяйственного использования.

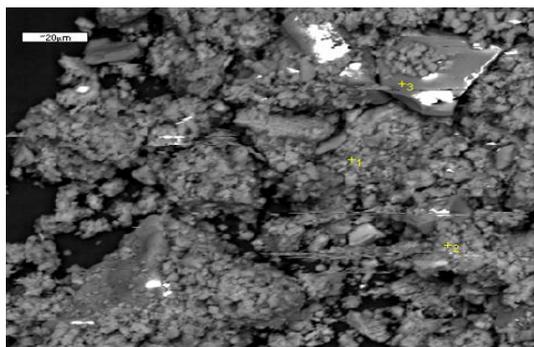


Рисунок 3 -
Микрофотографии NPK-удобрения (JSM-35 CF, JEOL)

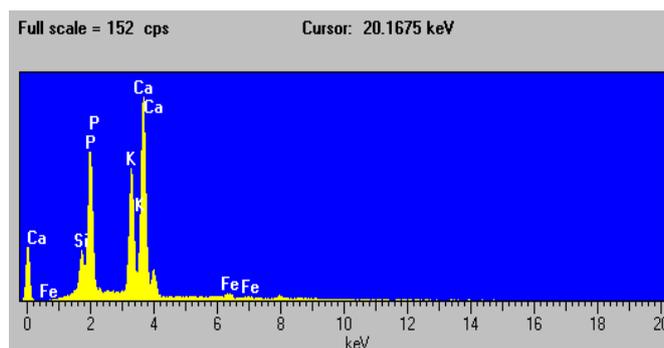


Рисунок 4 - Электронно –
микроскопи-ческий спектр
элементного состава NPK-удобрения

Полученные результаты подтверждают, что исследуемое удобрение отвечает заявленным стандартам качества, поскольку

содержат ключевые питательные компоненты и формируют благоприятную среду для роста и развития растений.

На рисунке 5 демонстрируются морфология и элементный состав NPK-удобрения, исследованного с использованием электронной микроскопии. Изображение в режиме обратных рассеянных электронов (BSE) предоставляет информацию о распределении плотности материала, позволяя различить области с различным атомным номером элементов. Карты их распределения показывают концентрацию и локализацию основных компонентов удобрения: P, K, Ca и Fe.

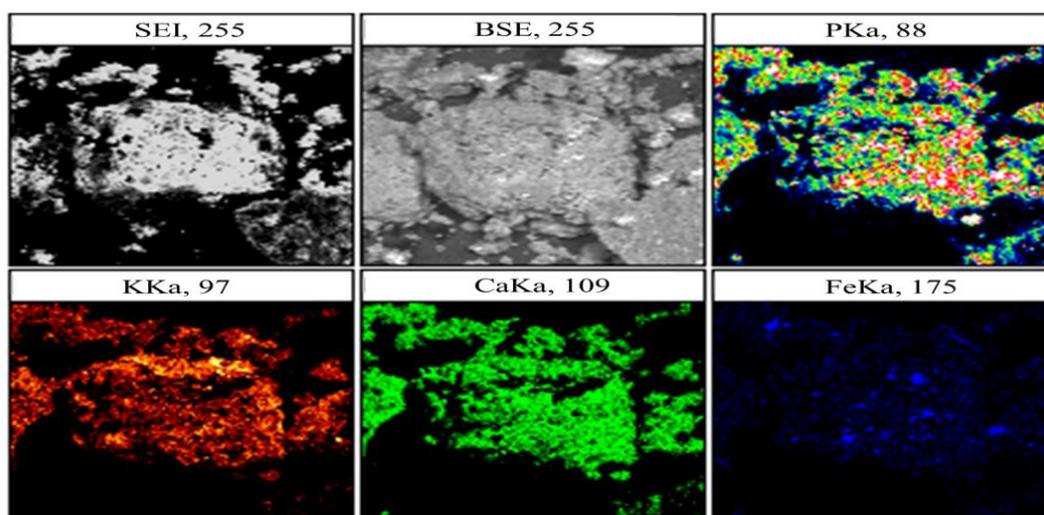


Рисунок 5 - Выделенные из NPK удобрения элементы в отраженных электронах BSE и карты их распределения

Рентгенофазовый анализ исходных и полученного образца NPK-удобрения

Анализ рентгенодифракционных (рентгеновских) дифрактограмм исходной фосфоритной руды (рис. 6) показал, что в руде преобладают кварц и карбонат-фторапатит. Изучение состава установило высокое содержание диоксида кремния (SiO_2) в исходной руде. Содержание SiO_2 превосходит долю остальных минералов, что свидетельствует о доминировании кварцевого компонента в исходном материале. После проведения флотационного обогащения произошло заметное снижение содержания SiO_2 , что указывает на удаление значительной части кварцевой (песчаной) фракции из концентрата.

Окончательный концентрат (рис. 7), полученный при оптимальных условиях флотации (фосфоритовая мука), характеризуется значительным обогащением фосфорсодержащими

минералами. На рентгенограммах концентрата зарегистрирован рост интенсивности пиков, соответствующих основным фосфорным соединениям – CaP_3 , $\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_2\text{O}$ и $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Это указывает на повышенную долю кальций-фосфатных фаз в концентрате по сравнению с исходной рудой.

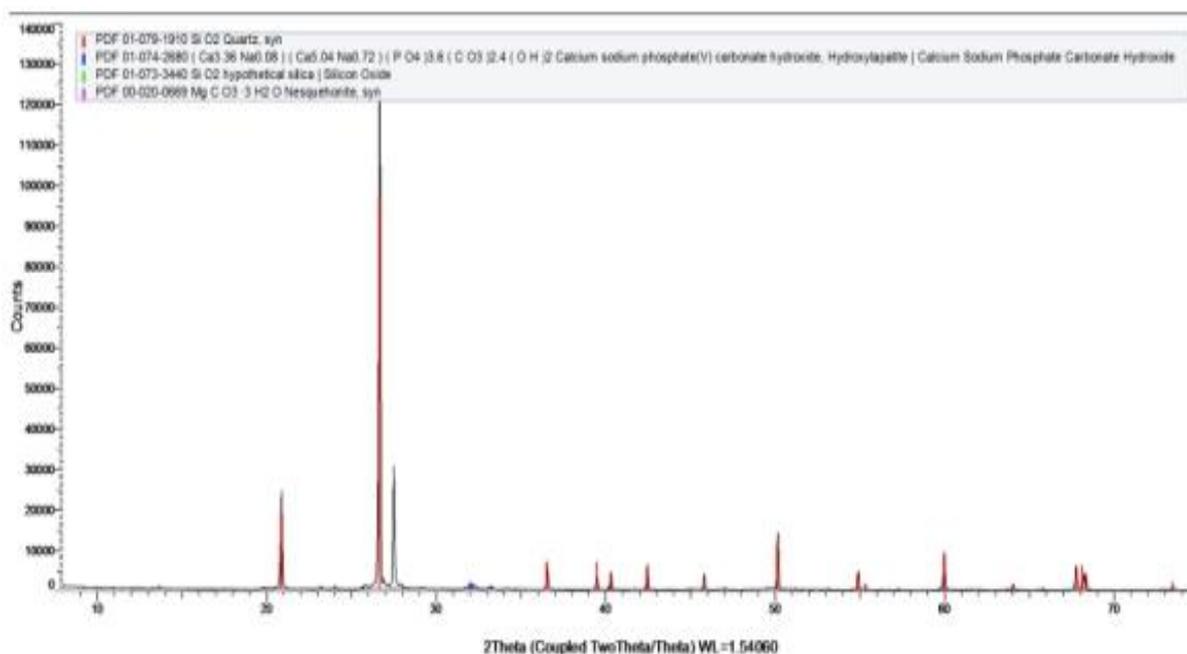


Рисунок 6 - Рентгеновская дифрактограмма исходной фосфоритовой руды месторождения Риват

В результате флотации концентрация фосфатных компонентов возрастает, что подтверждается увеличением площадей их дифракционных пиков. Таким образом, фаза карбонат-фторапатита, а также другие фосфатные соединения, полностью переходят в концентрат, обогащая его содержанием фосфора.

Рентгенодифрактометрический анализ (ДРОН-3, Со-анод, Fe-фильтр) показал, что в удобрениях марки 10:10:10 присутствуют следующие основные кристаллические фазы: дигидрофосфат калия $\text{K}(\text{H}_2\text{PO}_4)$; аммоний дигидрофосфат $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$; нитрат калия (KNO_3) ; гидрофосфат кальция (CaHPO_4) ; пятиокись фосфора (P_2O_5) (продукт термической дегидратации); калийный полифосфат $(\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7)$ образуется при более жёстком термическом режиме (рис.8).

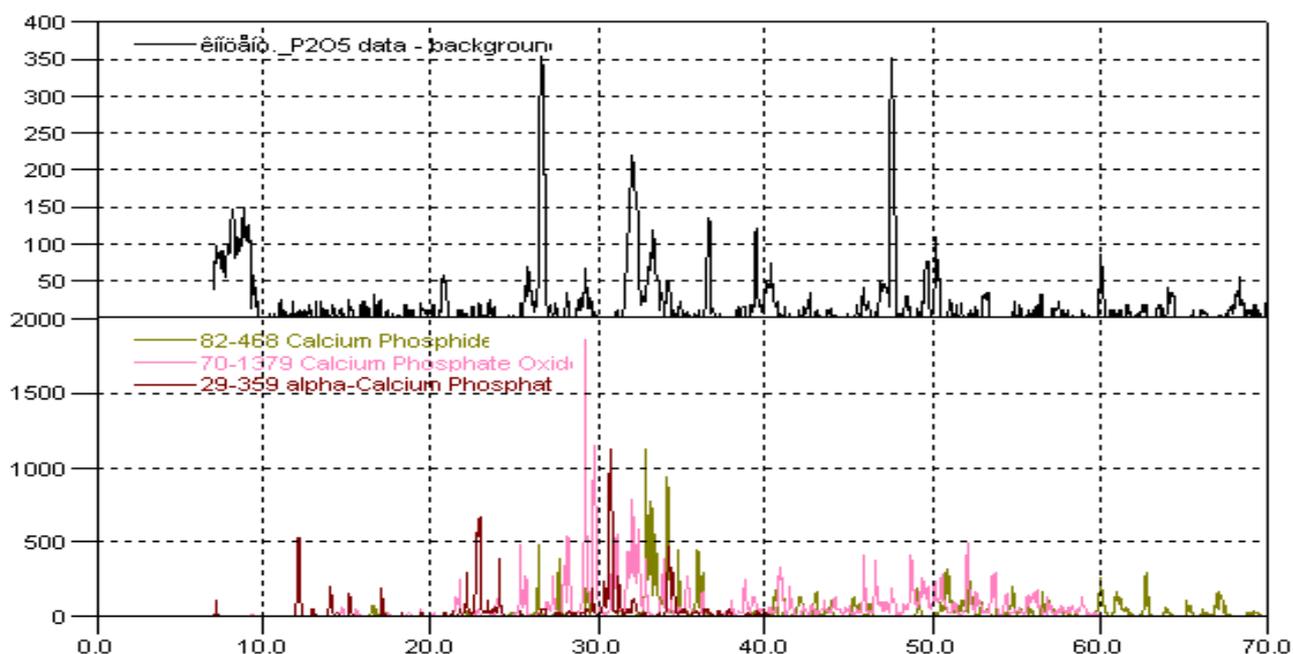


Рисунок 7 - Рентгеновская дифрактограмма концентрата фосфоритовой руды месторождения Риват

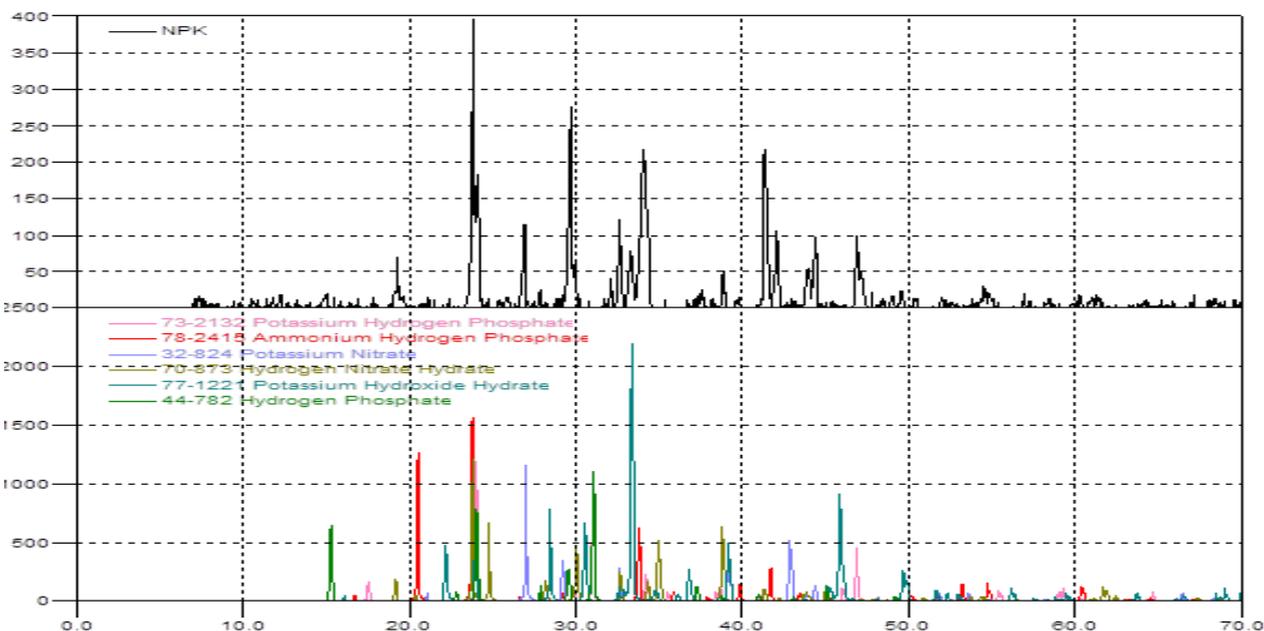
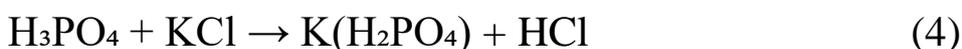
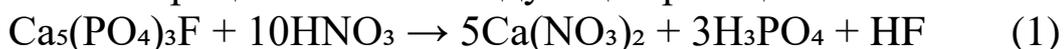


Рисунок 8 - Дифрактограмма удобрения марки 10:10:10, полученного без стадии фильтрации
Наличие этих соединений обеспечивает удобрениям высокую растворимость и доступность элементов питания для растений.

Термодинамическое обоснование процесса получения НРК-удобрений

Изучен процесс азотнокислотного разложения фосфоритного концентрата месторождения Риват. Одним из важнейших факторов, свидетельствующих о значимости исследований в данной сфере, выступает необходимость проведения углублённых термодинамических расчётов. Именно они позволяют прогнозировать вероятность протекания реакций, определять их энергетическую эффективность и выбирать оптимальные условия для реализации.

В основе процесса лежат следующие реакции:



Для оценки возможности протекания указанных химических реакций был выполнен детальный расчет термодинамических функций, характеризующих процесс разложения концентрата в среде азотной кислоты. Данные расчеты позволили определить энергетические параметры системы и спрогнозировать направление протекания реакций. В таблице 6 представлены начальные значения термодинамических функций для всех компонентов, задействованных в реакциях, обозначенных как (1)–(7). Эти данные включают значения стандартной энтальпии образования, стандартной энтропии, а также значения стандартных энергетических потенциалов Гиббса, что позволяет проводить точный анализ условий равновесия и спонтанности процессов.

Как показывают проведенные расчёты, все реакции протекают необратимо. На основании данных, представленных в таблице, видим, как изменение температуры влияет на термодинамические параметры реакций. Эти сведения имеют ключевое значение для оптимизации технологических процессов, направленных на производство НРК-удобрений.

В таблице 7. представлены результаты расчета термодинамических функций для процесса разложения фосфоритного концентрата азотной кислотой с последующим получением НРК.

Таблица 6 - Значения термодинамических функций исходных веществ и продуктов реакции

Вещество	ΔH° , кДж/моль	ΔG° , кДж/моль	S° , Дж/(моль·К)
$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (тв.)	-6775	-5965	489
HNO_3 (раств.)	-174,1	-110,6	146,4
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (тв.)	-939,6	-744,5	207,4
H_3PO_4 (раств.)	-1280	-1120	110,5
HF (водн.)	-320,1	-275*	82,4*
CaHPO_4 (тв.)	-1280	-1100	100
NH_3 (газ)	-46	-16	192
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	-1540	-1290	160
KCl (тв.)	-436	-408	83
$\text{K}(\text{H}_2\text{PO}_4)$	-1590	-1335	150
HCl (газ)	-92	-95	187
NH_4NO_3	-365	-183	151
KNO_3	-494	-365	134
NH_4Cl	-315	-202	94
H_2O (жидк.)	-286	-237	70
P_2O_5 (тв.)	-2966	-2670	180
KOH (тв.)	-425	-380	70
$\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (тв.)	-6200	-5800	300

Таблица 7 - Значения термодинамических функций

ΔH° , кДж/К	ΔS° , Дж/К	ΔG° , кДж/К			
		При температурах, К			
		298	323	343	363
1. $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F} + 10\text{HNO}_3 \rightarrow 5\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HF}$					
-342.1	-502.1	-192.8	-180.0	-169.8	-159.8
2. $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{CaHPO}_4 + 2\text{HNO}_3$					
+765.5	-71.5	+653.9	+788.6	+803.9	+818.2

Продолжение таблицы					
3. $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$					
-214.0	-142.5	-171.6	-167.9	-165.2	-162.3
4. $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{KCl} \rightarrow \text{K}(\text{H}_2\text{PO}_4) + \text{HCl}$					
+34.0	+143.5	-8.7	-12.3	-26.1	-39.8
5. $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl} \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$					
-8.0	-6.0	-6.2	-6.06	-5.94	-5.82
6. $2\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O}$					
-1264.0	+169.0	-1314.0	-1318.5	-1322.0	-1325.3
7. $\text{P}_2\text{O}_5 + 4\text{KOH} \rightarrow \text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 + 3\text{H}_2\text{O}$					
-1820.0	-90.0	-1793.2	-1790.9	-1773.1	-1756.3

Взаимодействие компонентов концентрата с азотной кислотой протекает самопроизвольно (рис. 9), однако, повышение температуры оказывает различное влияние на отдельные реакции.

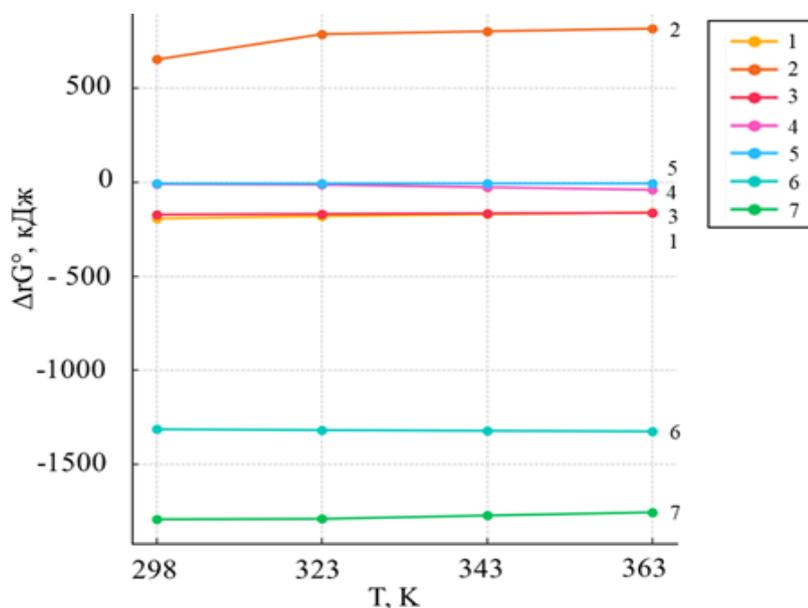


Рисунок 9 - Зависимость энергии Гиббса от температуры

Результаты термодинамического анализа подтвердили перспективность применения азотной кислоты для разложения фосфоритного концентрата из Риватского месторождения. Высокие значения констант равновесия и отрицательные энергии Гиббса большинства ключевых реакций свидетельствуют о высокой эффективности процесса.

Разработка и внедрение предложенных технологий переработки не только обеспечат устойчивое производство качественных НРК-удобрений, но и позволят значительно снизить экологические риски, связанные с использованием традиционных

методов. Полученные данные представляют научную и практическую значимость, способствуя оптимизации технологий обработки фосфорного сырья для аграрной промышленности.

Марка синтезируемых удобрений и принципиальная технологическая схема получения NPK-удобрения

Производственный прототип (рис. 10) позволяет синтезировать комплексные NPK-удобрения с различным суммарным содержанием питательных веществ, причём технологическая линия может работать как в режиме образования нерастворимого остатка, так и без инертной примеси. В основу процесса положена реакция нитрофосфатного типа. В азотнокислую пульпу апатита Риватского месторождения дозируют фосфорную кислоту до достижения мольного отношения $\text{CaO} : \text{P}_2\text{O}_5 = 0,79$. При этих условиях избыток кальция полностью переводится в дикальцийфосфат, а фосфор остаётся преимущественно в усвояемой форме, что придаёт продукту пролонгированное действие.

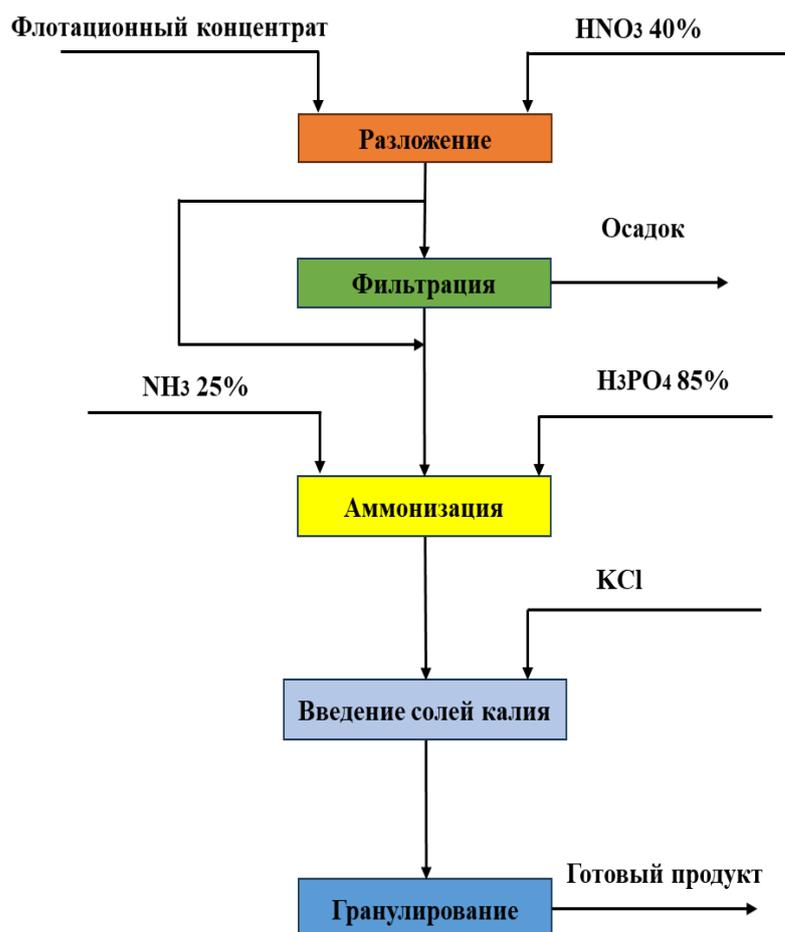


Рисунок 10 - Принципиальная технологическая схема получения NPK-удобрения

В серии опытов изменяли расход HNO_3 от 20 до 47 % (от расчётной стехиометрии) при выдержке 15–30 мин. Химический состав полученных образцов представлен в таблице 8.

Таблица 8 - Химический состав полученных удобрений

Марка NPK	Норма HNO_3 , %	N (общ.), %	P_2O_5 (общ.), %	P_2O_5 (усв.), %	K_2O , %	CaO , %
8:8:8	20	4.02	6.08	2.80	4.08	18.22
9:9:9	30	4.07	10.01	7.03	15.00	30.02
10:10:10	47	9.80	10.03	7.06	10.03	34.01

Повышение концентрации азотной кислоты приводит к более глубокому разложению фосфатного концентрата и, соответственно, к увеличению доли усвояемого фосфора и азота в конечном продукте. Оптимальным признан интервал 80–94 % от теоретически необходимого количества HNO_3 , при котором достигается высокий выход подвижных форм P_2O_5 и N без неоправданного перерасхода реагента, а готовое удобрение соответствует требованиям к маркам 8:8:8 – 10:10:10 по питательной ценности и агрономической эффективности.

Предлагаемая технологическая схема позволит осуществить переработку фосфоритных руд с организацией производственных цехов по получению NPK-удобрения.

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

Непосредственным объектом настоящего исследования является сорт хлопчатника «Вахдат-20» (*Gossypium hirsutum* L.). Данный сорт выведен таджикскими селекционерами и адаптирован к почвенно-климатическим условиям республики. «Вахдат-20» относится к средневолокнистым высокоурожайным сортам, сочетая высокий потенциал продуктивности с хорошим качеством волокна.

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 исследованного сорта хлопчатника.

Качество хлопкового волокна

Анализ технологических свойств волокна показал, что применение местного суперфосфата не ухудшает качество урожая, а по ряду показателей даже оказывает положительное влияние. В таблице 11 представлены основные параметры волокна, полученного в опыте. У хлопка сорта «Вахдат-20» (средневолокнистый) отмечена тенденция к улучшению длины и выхода волокна под влиянием удобрения. В частности, выход волокна повысился с 37,6 % (в контроле) до 39,6 % при удобрении Р (прирост ~2 процентных пункта). Длина штапельного волокна увеличилась с $32,7 \pm 0,9$ мм до $33,0 \pm 0,6$ мм (в среднем на 0,3–1 мм). Хотя эта прибавка невелика, она указывает на отсутствие негативного влияния интенсивного роста на длину волокна.

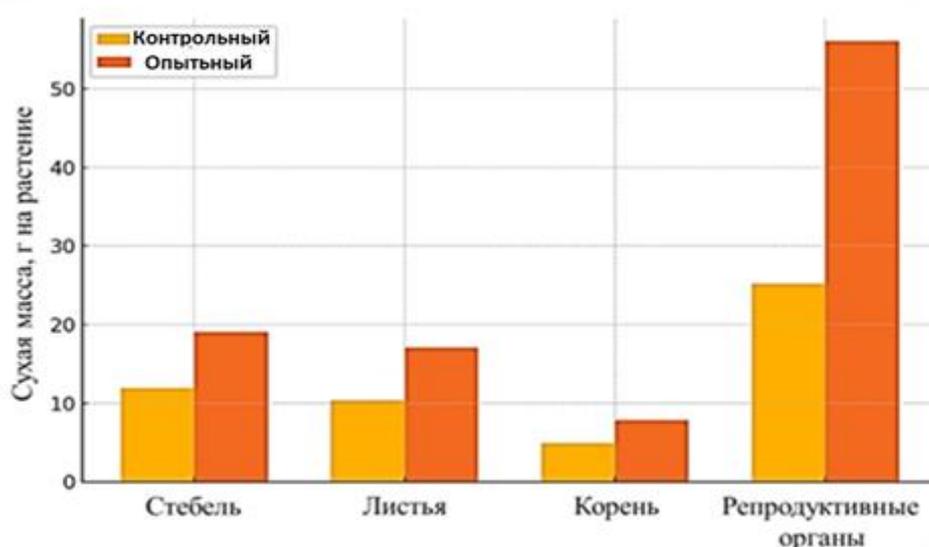


Рисунок 11 - Распределение сухой биомассы одного растения хлопчатника сорта «Вахдат-20» по органам, г (контроль – без P_2O_5 ; опыт – с местным суперфосфатом)

Таблица 12 - Влияние фосфорного удобрения (350 кг/га суперфосфата из риватских фосфоритов) на технологические свойства волокна хлопчатника сорта «Вахдат-20».

Показатель волокна	Контроль	Опыт
Выход волокна, %	$37,6 \pm 0,6$	$39,6 \pm 0,5$
Длина штапеля, мм	$32,7 \pm 0,9$	$33,0 \pm 0,6$
Разрывная нагрузка, г/текс	$4,47 \pm 0,09$	$4,77 \pm 0,12$
Микронейр (условные единицы)	$4,5 \pm 0,1$	$4,7 \pm 0,1$
Разрывная длина, км	$25,1 \pm 0,5$	$26,4 \pm 0,4$

Примечание: Разрывная длина – длина нити, при которой её масса равна разрывной нагрузке; показатель прочности, тесно связанный с разрывной нагрузкой и толщиной волокна.

Приведенные результаты демонстрируют, что фосфорное питание растений хлопчатника сорта «Вахдат-20» приводит к существенному ускорению их роста и увеличению продуктивности. Особенно заметна позитивная роль суперфосфата в формировании генеративных структур и накоплении волокна, что говорит о его эффективности как удобрения для повышения урожайности хлопчатника.

Полученные результаты подтверждают ключевую роль фосфора в продукционном процессе хлопчатника и демонстрируют высокую агрохимическую эффективность местного простого суперфосфата из риватских фосфоритов.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что фосфоритовые руды Риватского месторождения относятся к карбонат-апатитовому типу с благоприятной минералогической структурой для флотационного обогащения. Доминирующим минералом является франколит с высокой степенью карбонатной замены, обеспечивающий хорошую растворимость в сернокислотной среде.
2. Разработана технологически и экономически обоснованная схема прямой флотации, обеспечивающая получение фосфоритного концентрата с содержанием 26–28 % P_2O_5 и извлечением не менее 85 %. Выбран оптимальный реагентный режим с использованием олеиновой кислоты и водорастворимых активаторов.
3. Исследованы кинетические и термодинамические параметры сернокислотного вскрытия концентратов. Установлено, что при температуре 75 °С, рН 1,8–2,2 и тонкости помола $d_{80} \leq 0,16$ мм достигается извлечение фосфора более 90 % за счёт минимизации образования пассивирующего гипсового слоя.
4. Разработана и реализована лабораторная методика получения гранулированных комплексных удобрений (NPK) на основе кислотно-обработанного концентрата. Полученные удобрения обладают стабильными физико-химическими характеристиками, соответствующими агрохимическим требованиям для серозёмных почв.
5. Рентгенодифрактометрическим анализом показано, что в составе полученных удобрений марки 10:10:10 присутствуют следующие основные кристаллические фазы; дигидрофосфат калия,

аммоний дигидрофосфат, нитрат калия, гидрофосфат кальция, пятиокись фосфора и калийный полифосфат. Сканирующая электронная микроскопия выявила равномерное распределение основных элементов в грануляте, обеспечивая высокую агрохимическую эффективность.

6. Проведён агрохимический опыт с применением синтезированных NPK-удобрений на хлопчатнике сорта «Вахдат-20». Установлено ускорение фенологических фаз развития, увеличение биомассы, повышение урожайности хлопка и улучшение качества волокна по сравнению с контрольными вариантами.

Таким образом, результаты диссертационной работы подтверждают возможность комплексного и эффективного использования бедных фосфоритовых руд Республики Таджикистан для производства конкурентоспособных минеральных удобрений, что имеет важное значение для устойчивого развития агропромышленного комплекса страны.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

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

1. Тошов, Ф.М. Солянокислая обработка фосфоритной руды Риватского месторождения / Ф.М. Тошов, **Х.З. Карамбахшов**, Ш. А. Курбонов, Ш. Р. Самихов, Л. Г. Горенкова, С.Ш. Сафаров // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – 2018, - №3 (43), - С. 34-38.

2. **Карамбахшов, Х.З.** Разработка реагентного режима фосфоритовой флотации Риватского месторождения / **Х.З. Карамбахшов**, Ш.А. Курбонов, Х.И. Холов, М.С. Исмоилова, Ш.Р. Самихов // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. -2024, - № 4 (197), - С. 100-109.

3. **Карамбахшов, Х.З.** Разработка технологий получения NPK - удобрений на основе фосфоритных концентратов Риватского месторождения / **Х.З. Карамбахшов**, Ш.А. Курбонов, Х.И. Холов, М.С. Исмоилова, Ш.Р. Самихов // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. -2025, -№ 1 (198), - С. 98-109.

4. **Карамбахшов, Х.З.** Термодинамический анализ азотнокислотного разложения фосфоритного концентрата Риватского месторождения для производства НРК-удобрений / **Х.З. Карамбахшов, Ш.А. Курбонов, Х.И. Холов, Ш.Р. Самихов, С.Ш. Сафаров** // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. -2025, - № 1 (69), - С. 48-54.

5. Курбонов, Ш.А. Агрохимическая эффективность суперфосфата из Риватских фосфоритов при возделывании хлопчатника сорта «Вахдат-20» / Ш.А. Курбонов, **Х.З. Карамбахшов, Х.И. Холов, Ш.Р. Самихов** // Учёные записки. Серия: Естественные и экономические науки. -2025, - № 3 (74), - С. 54–65.

Публикации в материалах Международных и Республиканских конференций

6. **Карамбахшов, Х.З.** Флотационный способ переработки бедного фосфорита Риватского месторождения / **Х.З. Карамбахшов, Ш.А. Курбонов, Ш.Р. Самихов** //Материалы Международной научно-технической конференции XIV Ломоносовские чтения «Роль филиала Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в городе Душанбе в развитии науки и образования». Часть II. Естественные науки. –Душанбе: -2024, -С. 233-237.

7. Курбонов, Ш.А. Разработка технологии обогащения фосфоритной руды Риватского месторождения / Ш.А. Курбонов, М.С. Исмоилова, Ш.Р. Самихов, **Х.З. Карамбахшов**// Материалы научно-практической конференции молодых учёных, посвящённой объявлению 2024 года «Годом правового просвещения». –Душанбе: -2024, -С. 358–361.

8. **Карамбахшов, Х.З.** Оптимальный режим и технологическая схема получения фосфоритовой муки/**Х.З. Карамбахшов, Ш.А. Курбонов, А.М. Мансуров, Ш.Р. Самихзода, С.Ш. Сафаров** //Материалы III ежегодной Международной научно-технической конференции «Развитие национальной промышленности и геологии Таджикистана за годы независимости страны», посвящённая Дню таджикской геологии. –Душанбе: -2024, -С. 25-27.

9. Курбонов, Ш.А. Обогащение фосфоритных руд Риватского месторождения Республики Таджикистан/**Ш.А. Курбонов, Х.З. Карамбахшов, Ш.Р. Самихзода, Х.И. Холов**//Материалы Республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-

индустриализации страны, 2022-2026 «Годами развития промышленности» и посвященной памяти заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, д.х.н., профессора Лутфулло Солиева. –Душанбе: -2025, -С. 85-90.

10. **Карамбахшов, Х.З.** Разработка методов производства комплексных удобрений из фосфоритного концентрата Риватского месторождения/**Х.З. Карамбахшов, Ш.А. Курбонов, Х.И. Холов, М.С. Исмоилова, Ш.Р. Самихов** // Сборник статей первой Республиканской научно-практической конференции «Роль молодого учёного в развитии науки, инноваций, цифровой экономики и национального государственного управления». – Душанбе: - 2025, -С. 300-304.

11. **Карамбахшов, Х.З.** Переработка фосфоритной руды Риватского месторождения / **Х.З. Карамбахшов, Ш.А. Курбонов, Х.И. Холов, М.С. Исмоилова, Ш.Р. Самихзода**//Материалы Международной научно–практической конференции «Роль естественно-математических и точных наук в развитии инновационных технологий и цифровой экономики». –Дангара: - 2025, – С. 90-95.

Сдано в печать 17.11.2025 г.
Подписано в печать 21.11.2025.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Тираж 100 экз.
Отпечатано в типографии
ООО «Сармад-Компания»
г. Душанбе, ул. Лахути 6, 1 проезд

