

На правах рукописи



**МИРСАИДОВ ИЛХОМ УЛЬМАСОВИЧ**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ  
УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ МЕСТНЫХ  
СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ТАДЖИКИСТАНА**

**Специальность 02.00.04 – Физическая химия**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой  
степени доктора технических наук

**Душанбе – 2016**

Работа выполнена в научно-исследовательском секторе Агентства по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан.

Научный консультант:	доктор технических наук, профессор <b>Назаров Холмурод Марипович</b>
Официальные оппоненты:	<b>1. Медведев Александр Сергеевич</b> - доктор технических наук, профессор Национального исследовательского технологического университета (НИТУ) «МИСиС»; <b>2. Кузин Рудольф Евгеньевич</b> - доктор технических наук, профессор АО «Ведущий научно-исследовательский институт Госкорпорации Росатом по химическим технологиям» (ВНИИХТ); <b>3. Соболев Андрей Игоревич</b> – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами» РосРАО
Ведущая организация:	Таджикский национальный университет, химический факультет, кафедра физической и коллоидной химии

Защита состоится « 27 » апреля 2016 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 047.003.02 при Институте химии им.В.И.Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, г.Душанбе, ул.Айни, 299/2. E-mail: [gulchera@list.ru](mailto:gulchera@list.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института химии им. В.И.Никитина АН Республики Таджикистан и на сайте Института химии им. В.И.Никитина АН Республики Таджикистан [www. chemistry.tj](http://www.chemistry.tj)

Автореферат разослан « » 2016 г.

**Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
доктор химических наук,  
профессор**



**Абулхаев В.Д.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Добыча и переработка урановых руд является первым этапом, обеспечивающим устойчивое функционирование ядерной энергетики. Свыше 16% мировой электроэнергии производится более чем 440 ядерными реакторами, более 30 реакторов находятся в процессе строительства. Но урана сегодня добывается почти в два раза меньше, чем нужно для полного обеспечения всех действующих реакторов. Это связано с тем, что в производственный процесс последние двадцать лет вовлекали складские запасы и «военный уран», предназначенный для ядерного оружия. Но эти запасы подходят к концу, и в ближайшие годы аналитики прогнозируют как рост производства природного урана, так и цен на него.

Урановые месторождения Таджикистана сыграли важную роль в практическом решении возникшей в послевоенные годы в СССР проблемы радиоактивного сырья. Пионером этой отрасли стал комбинат №6 (в настоящее время ГП «Востокредмет»). Из руды, добытой на месторождениях республики, был получен первый советский урановый концентрат. В Советском Союзе гидromеталлургический завод (ГМЗ) в составе комбината ГП «Востокредмет» занимал ведущее место и выдавал 20% от общего объема получаемого концентрата урана в СССР.

В настоящее время ширится фронт исследовательских работ по разработке методов извлечения уранового концентрата из руд и отходов. Изучение возможности и экономической целесообразности переработки отвалов прошлых лет требуют всесторонней проработки, что связано не только с извлечением урана, но и безопасной добычей отвалов из хвостохранилищ.

Представляет интерес выделение урановых концентратов из шахтных и дренажных вод месторождения Киик-Тала (г.Худжанд) и г.Истиклола (ранее г.Табошар) Республики Таджикистан. Шахтные воды Киик-Тала содержат 20-25 мг/л урана и безвозвратно дренируются в землю, загрязняя почву. При эффективной технологии сорбции урана из этих вод можно получить 1-2 тонн/год  $U_3O_8$ . Дренажные воды г.Истиклола содержат от 10 до 70 мг/л урана, которые близки к промышленной добыче урана. Это обстоятельство актуализирует проблему гармонизации программы мониторинга окружающей среды, а также необходимость разработки эффективной

технологии переработки отходов и технических вод, содержащих уран.

В целом, в г.Истиклоле накоплено уникальное урановое наследие Советского Союза, которое дает возможность постановки ряда научно-исследовательских работ. Разнообразие уранового наследия г.Истиклола: хвостохранилищ, забалансовых руд, отвалов, отходов после кучного выщелачивания («Фабрика бедных руд» - ФБР), шахтных и дренажных вод вынуждает принять экстренные меры по решению экологических проблем города. Кроме того, Таджикистан имеет определённый запас урановых руд. Поиск технологических основ переработки этих руд также является актуальной задачей.

В работе также приведена термическая устойчивость уранильных соединений и дана сравнительная оценка термодинамических характеристик актиноидов и лантаноидов. Кроме того, в урансодержащих рудах имеются незначительные количества лантаноидов и нами сделана попытка выделения этих элементов.

**Целью работы** является интенсификация процессов извлечения урановых концентратов с использованием физико-химических способов переработки техногенного и природного сырья Таджикистана.

**Научная новизна.** Выполненные исследования вносят вклад в решение актуальной проблемы извлечения  $U_3O_8$  из руд и отходов, а также из урансодержащих растворов. Изучены физико-химические основы переработки урановых руд и отходов кислотным и щелочным способами. Найдены оптимальные условия извлечения урановых концентратов из руд и урансодержащих вод. Предложены принципиальные технологические схемы извлечения  $U_3O_8$  с использованием не традиционных реагентов. Изучены механизмы протекания и кинетические параметры извлечения уранового концентрата. Показана эффективность использования бентонитовых глин в процессе извлечения  $U_3O_8$ . Предложены сорбенты из местных сырьевых ресурсов для получения концентрата из урансодержащих вод. Изучено физико-химическое состояние урана в супесчаных почвах. Изучена кинетика процесса разложения урансодержащих супесчаных почв и найдены оптимальные условия выделения  $U_3O_8$  из этих почв. Изучен процесс термического распада уранильных соединений и определены их термодинамические характеристики.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что на основе проведенных исследований разработаны принципиальные технологические схемы переработки урановых руд, отходов и урансодержащих шахтных и дренажных вод. При этом насыщенный ураном природный сорбент из растительного сырья (скорлупы урюка, грецкого ореха, шишек сосны и арчи) можно перерабатывать с целью получения желтого кека –  $U_3O_8$ . С целью экономии аммиачной воды и удаления примесей в процессе подготовки десорбата предлагается использовать пушонку или известняк. Найдены пути использования отходов урановой промышленности (хвостохранилищ) с целью улучшения экологической обстановки в регионе. Рекомендуется вторичное использование отработанного бентонита в качестве защитного слоя хвостохранилищ, что является эффективным с точки зрения экономии и экологии. Результаты работ отражены в полупромышленных испытаниях и внедрены для очистки шахтных и дренажных вод:

- акт ГП «Востокредмет» полупромышленных испытаний технологии извлечения урана от 10.06.2011 г.;

- акт внедрения ГП «Востокредмет» от 04.05.2012 г. Ожидаемый экономический эффект 100 тысяч долларов США при добыче одной тонны урана.

- акт полупромышленных испытаний ГП «Востокредмет» извлечения урана из супесчаных почв от 25.11.2014 г.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Теоретические основы химико-технологических процессов максимального извлечения урана из руд, отходов, рассолов и урансодержащих шахтных и дренажных вод.

2. Изучение физико-химического процесса сорбции урана на различных сорбентах для очистки урансодержащих шахтных и дренажных вод.

3. Установление технологических особенностей очистки урансодержащих шахтных и дренажных вод с применением активированных бентонитовых глин.

4. Определение оптимальных параметров технологического процесса извлечения уранового концентрата, от рН среды, температуры и концентрации растворов.

5. Физико-химические свойства урановых соединений в супесчаных почвах и способы извлечения уранового концентрата из них.

6. Разработанные технологические схемы извлечения уранового концентрата из руд, отходов, рассолов, шахтных и дренажных вод.

7. Результаты изучения термического распада уранильных соединений и сравнительной оценки термодинамических характеристик лантаноидов и актиноидов.

**Обоснованность и достоверность научных исследований, выводов и рекомендаций** базируется на использовании результатов, полученных с помощью сертифицированного лабораторного оборудования с привлечением физико-химических методов исследований – РФА, ДТА, ИК – спектроскопии и спектральных методов анализа. Теоретическая часть работы построена на основе ряда законов физической химии.

**Реализация выводов и рекомендации работы.** Исследование выполнено в рамках Целевой программы «Изыскание технологических основ переработки урансодержащих руд и отходов урановой промышленности», госрегистрация №102 ТД 843, по договору с Комитетом по охране природы Республики Таджикистан, а также по национальным проектам МАГАТЭ по управлению отходами урановой промышленности. Часть разработанных технологий прошли опытно-промышленные испытания и внедрены на базе ГП «Востокредмет», а также в учебный процесс Горно-металлургического института Министерства образования и науки Республики Таджикистан.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации обсуждались на: Всероссийском симпозиуме «Эффекты среды и процессы комплексообразования в растворах» (Красноярск, Россия, 2006); 6-ой Международной конференции «Ядерная и радиационная физика» (Алматы, Казахстан, 2007); Сахаровских чтениях «Экологические проблемы 21 века» (Минск, Беларусь, 2007); 10-ой Международной конференции по термодинамике (Суздаль, Россия, 2007); II Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке» (Душанбе, Таджикистан, 2007); International Congress of the International Radiation Protection Association – IRPA-12, Strengthening Radiation Protection Worldwide (Buenos-Airis, Argentina, 2008); Региональном семинаре МАГАТЭ по оценке безопасности управления радиоактивными отходами (Каштела, Хорватия, 2007); Региональном семинаре МАГАТЭ по безопасному управлению отходами урановой промышленности в Центральной Азии (Душанбе, Таджикистан, 2008);

Международной 43-й встрече экспертов урановой группы (Вена, Австрия, 2009); IV Нумановских чтениях (Душанбе, Таджикистан, 2009); International Conference on Authentication and Analysis of gold Work (Paris, France, 2009); Международном семинаре Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) по методам реабилитации и целям регулирующего контроля при подготовке и выполнению работ на старых загрязненных объектах урановой промышленности (Душанбе, Таджикистан, 2009); XVI Международной конференции по химической термодинамике в России (Казань, 2009); 7-ой Международной конференции «Ядерная и радиационная физика» (Алматы, Казахстан, 2009); Республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии (Душанбе, 2009); Техническом совещании МАГАТЭ по управлению и захоронению радиоактивных отходов природного происхождения (Вена, Австрия, 2010); Региональном семинаре МАГАТЭ по снижению рисков от радона внутри помещений (Женева, Швейцария, 2010); Пленарном совещании МАГАТЭ по реабилитации окружающей среды (Вена, Австрия, 2010); Региональном семинаре МАГАТЭ по характеристике отходов с целью минимизации отходов и их повторной переработки (Тирана, Албания, 2010); 17<sup>th</sup> International Conference on «Solid Compounds of Transition Elements» (Annecy, France, 2010); Региональном семинаре МАГАТЭ по оценке радиационного влияния на питьевую воду (Вена, Австрия, 2011); Региональном семинаре МАГАТЭ по разработке стратегии по управлению радиоактивными отходами (Вена, Австрия, 2012); Региональном семинаре МАГАТЭ по оценке влияния урановых хвостохранилищ на подземные воды (Талин, Эстония, 2012); 12-ой Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы 21 века» (Минск, Беларусь, 2012); Международном семинаре «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения» (Душанбе, Таджикистан, 2012); Международной конференции «Сахаровские чтения 2013. Экологические проблемы 21 века» (Минск, Беларусь, 2013); Международной научно-практической конференции «Комплексный подход к использованию и переработке угля» (Душанбе, Таджикистан, 2013); International Conference on Nuclear Security: Enhancing Global Efforts (Vienna, Austria, 2013); XIV Международной конференции по термическому анализу и калориметрии в России (Санкт-Петербург, Россия, 2013); Международный семинар «Управление и

регулирующий надзор урановых хвостохранилищ: перспективы с точки зрения регуляторов и операторов» (Колорадо, США); Международной конференции «Waste Management 2014», (Аризона, США 2014); International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Environmental Issues (Vienna, Austria, 2014); 7<sup>th</sup> International Conference on Rare Earth Development and Application (ICRE – 2013) (Ganzhou city, China, 2014); Международной конференции «Сахаровские чтения 2014. Экологические проблемы 21 века» (Минск, Беларусь, 2014); Международной конференции «Waste Management 2015», (Аризона, США 2015), XII Нумановских чтениях (Душанбе, Таджикистан, 2015).

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 80 статей, из них 26 статей в рецензируемых журналах, которые входят в перечень ВАК РФ, 45 публикаций в материалах конференций, получены 4 патента на изобретения и 4 монографии.

**Объем и структура работы.** Диссертация представляет собой рукопись, изложенную на 274 страницах компьютерного набора, содержит введение, обзор литературы, результаты исследований и их обсуждение, выводы, а также список цитируемой литературы, включающий 266 наименований библиографических ссылок. Работа иллюстрирована 85 рисунками и 93 таблицей.

## 1. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* отражена актуальность проблем отрасли и практическая значимость выбранной темы исследования.

*В первой главе* диссертации приводится краткий литературный обзор по физико-химическим основам получения урановых концентратов. Освещены вопросы подготовки урановых руд для извлечения полезных компонентов и некоторые методы переработки урановой руды. Проведён анализ существующих способов извлечения урана и лантаноидов из урансодержащих растворов. Рассмотрены имеющиеся данные по селективному извлечению лантаноидов из сложных по составу растворов на ионитах различных классов.

Особое внимание уделено извлечению урана из руды и классификации его потерь. Проведен анализ состояний урановых хвостохранилищ Таджикистана.

*Во второй главе* дана характеристика объектам исследования, приведён химический состав использовавшихся в экспериментах проб. Описаны технологические особенности извлечения уранового

концентрата из руд месторождения «Северный Таджикистан» и рапы озера Сасык-Куль. Приведены разработанные технологические схемы по получению желтого кека с применением известняка и показана эффективность экономии аммиачной воды.

*В третьей главе* приведены сорбционные методы переработки урансодержащих шахтных и дренажных вод с использованием местных сырьевых ресурсов – скорлупы урюка, грецкого ореха, шишек сосны и арчи.

*В четвёртой главе* диссертации исследована вторичная переработка хвостов урановой промышленности. Дана характеристика хвостохранилищ северного Таджикистана и описаны технологические схемы вторичной переработки хвостов, а также изучена кинетика сернокислотного разложения отходов. Кроме того, в этой главе описаны физико-химические основы выделения  $U_3O_8$  из супесчаных почв, изучена кинетика процесса и предложена технологическая схема получения уранового концентрата.

*В пятой главе* приведены результаты изучения термического распада уранильных соединений и сравнительной оценки термодинамических характеристик лантаноидов и актиноидов.

## **2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ РУД И РАССОЛОВ ТАДЖИКИСТАНА**

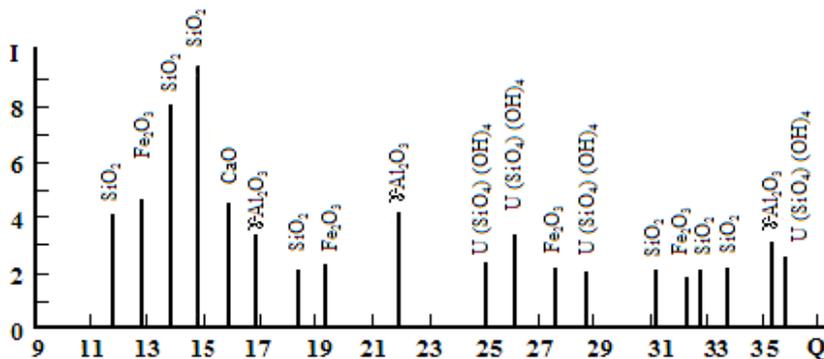
### **2.1. Физико-химический анализ урансодержащих руд**

Для определения химического и минералогического состава были взяты пробы руды из месторождения «Северный Таджикистан». Результаты рентгеноспектрального анализа руды представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Химический состав руды месторождения «Северный Таджикистан»

Определяемые элементы и соединения	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Cr	V	TiO <sub>2</sub>	Th	U
Содержание, %	0,062	0,013	0,005	0,100	0,035	0,026	0,033	19,040	1,270	0,027	0,070	1,760	0,020	0,241

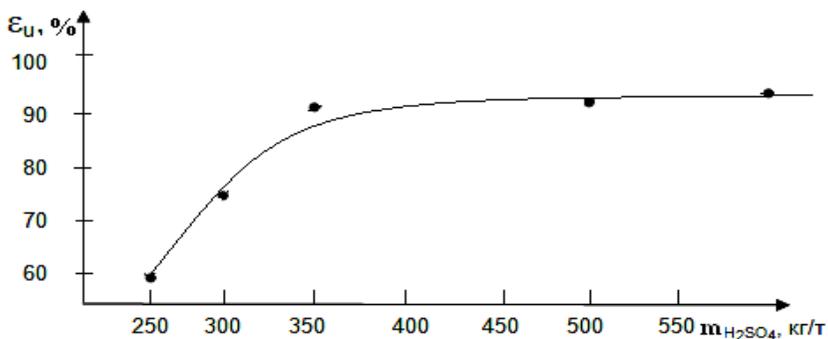
Основные урановые минералы руд «Северный Таджикистан» представлены титанатами, силикатами урана, в очень редких случаях – настуран и уранинит. Кроме урановых минералов отмечаются пирит, галенит, антимонит, известняк, марганцевые и титановые минералы. Результаты идентифицированы рентгенофазовыми (рисунок 1) и химическими анализами.



**Рисунок 1.** Штрихдифрактограмма пробы руды, отобранной из месторождения «Северный Таджикистан».

## 2.2. Кинетика сернокислотного разложения урановых руд месторождения «Северный Таджикистан»

Разложение пульпы серной кислотой (с расходом 100-600 кг/т) проводилось при Т:Ж = 1:2 и  $t = 60-75^{\circ}\text{C}$  в течение  $\tau=6$  часов. Твердый остаток после разложения дважды промывали водой при соотношении Т:Ж=1:1. Извлечение урана растёт с увеличением расхода серной кислоты от 100 до 600 кг/т и достигает 93,27% (при 600 кг/т серной кислоты и 26 кг/т азотной кислоты) (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Зависимость степени извлечения урана от расхода серной кислоты.

Рациональное извлечение урана составляет 93,13% при расходе 350 кг/т серной кислоты и 30 кг/т азотной кислоты.

Кинетические кривые извлечения урана при различных температурах и продолжительности процесса представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, повышение температуры ускоряет процесс разложения. Эти кривые хорошо описываются уравнением первого порядка:

$$\frac{d\epsilon}{dt} = k(1-\epsilon),$$

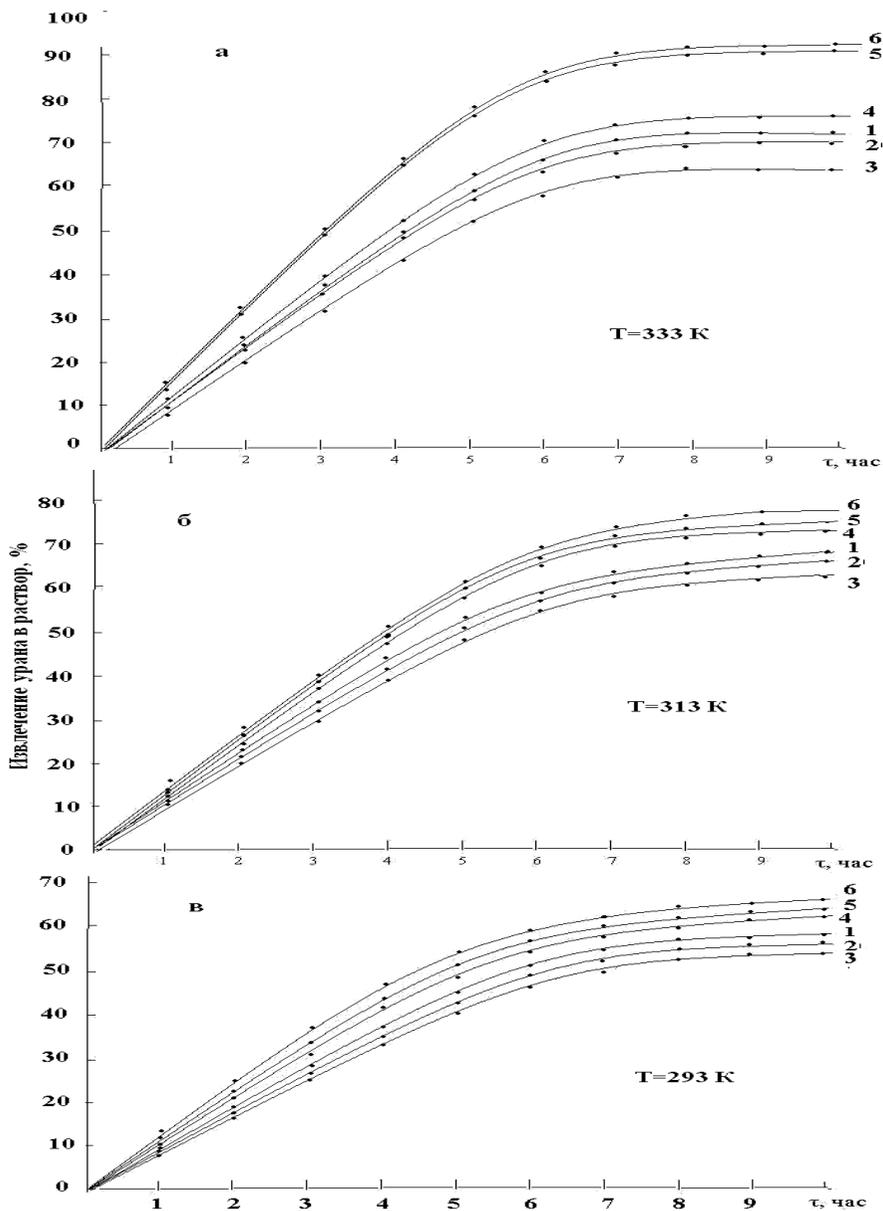
где:  $\epsilon$  – степень извлечения урана, %;

$t$  - время, мин;

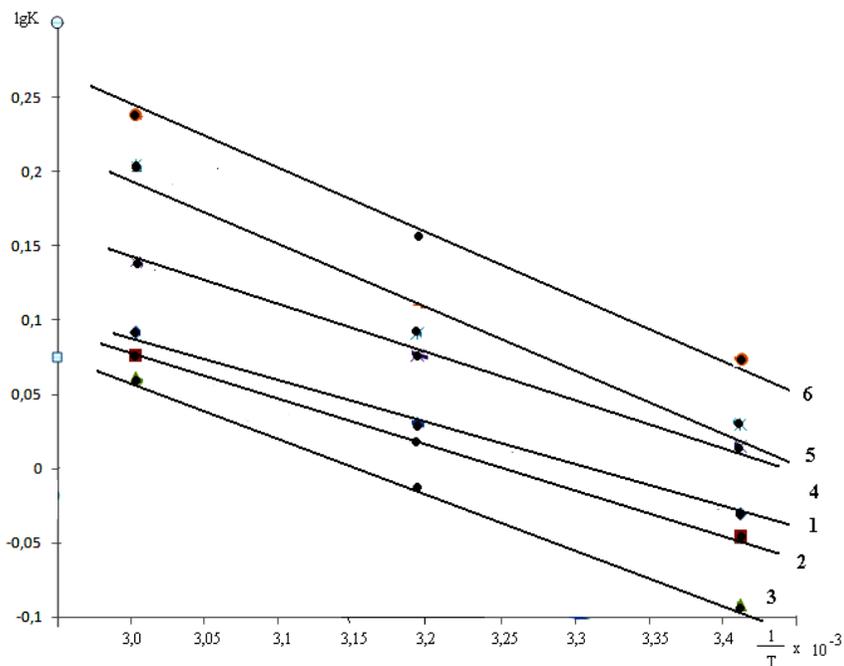
$k$  - константа скорости разложения урана,  $\text{мин}^{-1}$ .

На рисунке 4 приведены зависимости логарифмов средних значений, констант скоростей от обратной температуры.

Значения экспериментальной энергии активации, равные  $3,4 \div 5,6$  кДж/моль, определенные по тангенсу угла наклона прямой, свидетельствуют о протекании процесса разложения в диффузионной области. Данная величина энергии активации подтверждает, что увеличение скорости перемешивания пульпы в два раза почти не оказывает влияния на степень извлечения урана.



**Рисунок 3.** Зависимость степени извлечения урана от продолжительности процесса с различными расходами серной кислоты (расход кг/т): 1 - 150; 2 - 200; 3 - 250; 4 - 300; 5 - 350; 6 - 400.

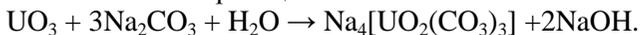


**Рисунок 4.** Зависимость  $\lg K$  от обратной абсолютной температуры разложения руды с различным расходом серной кислоты (расход кг/т): 1 - 150; 2 - 200; 3 - 250; 4 - 300; 5 - 350; 6 – 400.

Проведенные исследования раскрывают механизм сернокислотного разложения урановых руд месторождения «Северный Таджикистан». Методами осаждения, сорбции и экстракции из раствора получено  $U_3O_8$ .

### 2.3. Карбонатное выщелачивание урановых руд месторождения «Северный Таджикистан»

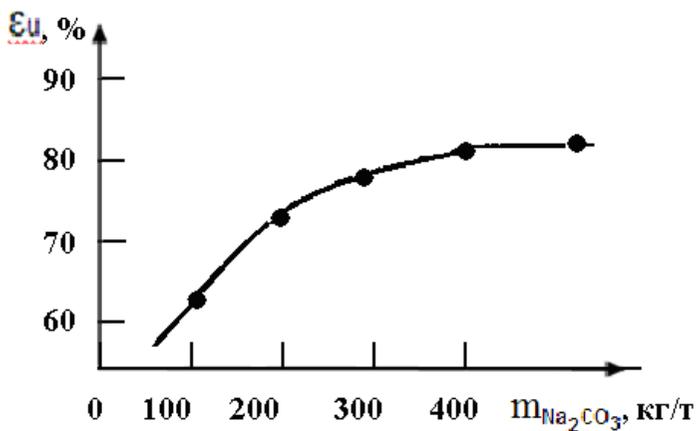
В работе наряду с кислотной технологией приведен щелочной способ переработки урановых руд. В основе карбонатного выщелачивания лежит реакция:



При этом уран переходит в сравнительно хорошо растворимое в воде комплексное соединение – трикарбонатуранилат натрия. По этой реакции с применением содового раствора довольно легко

вскрываются все осадочные урановые породы, триоксиды и моноуранаты.

Карбонатное выщелачивание проводили с расходом 100-400 кг/т  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Выщелачивание пульпы проводилось при Т:Ж = 1:2 и  $t = 80^\circ\text{C}$  в течение  $\tau=6$  часов. Твердый остаток после выщелачивания трижды промывали водой при соотношении Т:Ж=1:1. Извлечение урана растёт с увеличением расхода соды от 100 до 400 кг/т и достигает 82% (рисунок 5). Рациональным считается извлечение урана 72% (при 200 кг/т соды), так как оно достигается с меньшим расходом соды. В данном случае на первой стадии проводится мокрое измельчение руды, что способствует переводу части урана в раствор, что дает возможность извлечения его сорбционным методом, минуя стадию выщелачивания.



**Рисунок 5.** Зависимость степени извлечения урана от расхода соды при  $t=80^\circ\text{C}$ ,  $\tau=6$  часов, Т:Ж=1:2.

#### 2.4. Извлечение урана из природных ураносодержащих вод

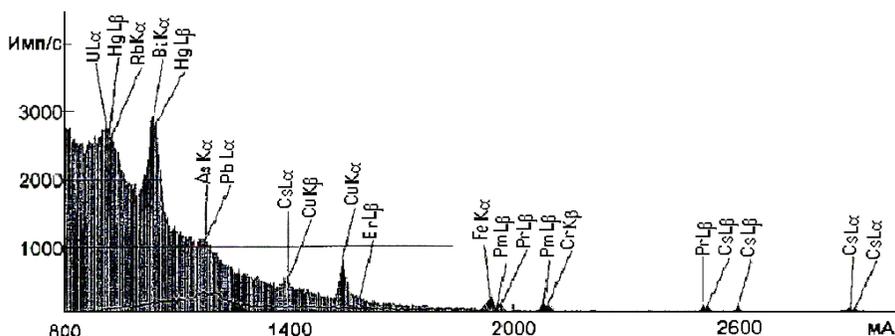
Для исследования были взяты пробы вод озера Сасык-Куль, состав которых приведен в таблице 2. В рапе содержится 40 мг/л урана, среда  $\text{pH}=9,2$ . Пробы подвергли обезвоживанию, то есть выпаривали 250 мл ураносодержащих вод досуха, в результате получили 27 г соли.

**Таблица 2.** Содержание основных анионов и катионов в водах озера Сасык-Куль

Анион-ионы	Содержание, г/л	Катион-ионы	Содержание, г/л
Cl <sup>-</sup>	34,9	Na <sup>+</sup>	37,5
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	19,4	K <sup>+</sup>	1,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9,39	Li <sup>+</sup>	0,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8,0		
F <sup>-</sup>	0,5		

Как видно из таблицы 2, в растворе имеется большое количество хлоридов. При традиционной сорбции уран не сорбируется.

На рисунке 6 представлены рентгеновские спектры полученного продукта. Определён химический состав соли.



**Рисунок 6.** Спектр остатка соли после выпаривания.

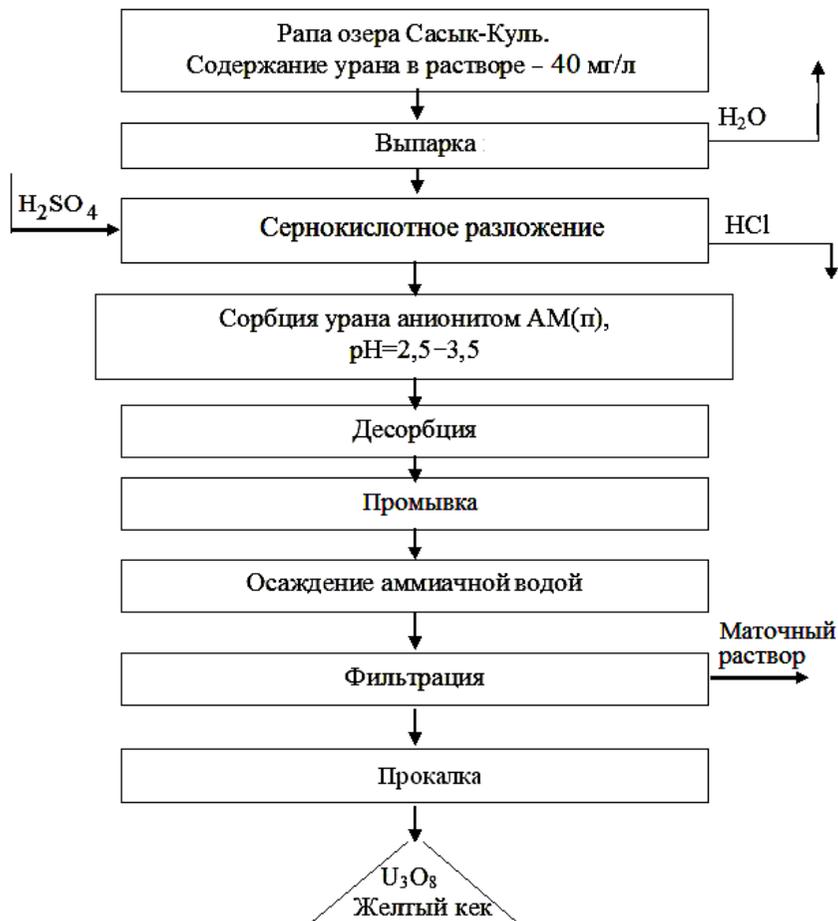
Для удаления ионов хлора раствор выпаривали, добавляли H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, улавливали соляную кислоту. Затем из раствора выделяли U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (таблица 3).

**Таблица 3.** Сорбция урана смолой АМ(п) из раствора после удаления хлор-ионов

№ опыта	Объём пропущенного раствора, мл	Вход		Выход		Извлечение U, %
		г/л	pH	г/л	pH	
1	350	0,013	3,3	0,002	2,75	84,61
2	170	0,018	3,05	0,005	2,93	72,22

Таким образом, показано, что из рассолов, содержащих хлор-ион, возможно извлечение уранового концентрата и одновременно получение соляной кислоты (с концентрацией 10-12%).

Разработана принципиальная технологическая схема выделения уранового концентрата из рапы озера Сасык-Куль, состоящая из следующих основных стадий: выпаривание, разложение, улавливание образующихся газов (HCl), сорбция, десорбция, осаждение и прокалка (рисунок 7).

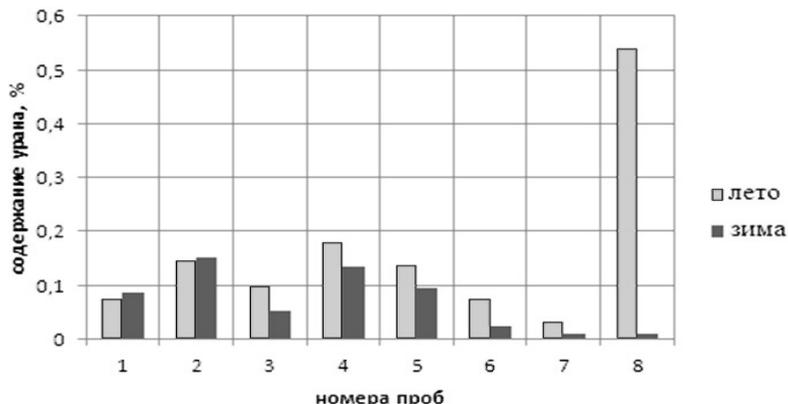


**Рисунок 7.** Принципиальная технологическая схема выделения уранового концентрата из рапы озера Сасык-Куль.

### 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ УРАНСОДЕРЖАЩИХ ВОД ПРИРОДНЫМИ РАСТИТЕЛЬНЫМИ СОРБЕНТАМИ

#### 3.1. Физико-химические свойства шахтных и дренажных урансодержащих вод

Особую проблему комплекса захоронений в г.Истиклоле могут представлять дренажи остаточных растворов, которые выклиниваются в виде родников из-под мест захоронений. В частности, у подножья хвостохранилища 1-2 очереди были обнаружены родники с исключительно высоким содержанием сульфат-иона – 9200-9600 мг/л и карбонатных оснований ( $\text{HCO}_3^-$  - 1800 мг/л), а также растворенного урана и других радионуклидах уран-ториевого ряда (рисунок 8).



**Рисунок 8.** Динамика миграции  $^{238}\text{U}$  в различных слоях почвы в зависимости от времени года.

Содержание суммарной альфа-активности в таких дренажах определено на уровне 1200-1500 Бк/л, а концентрации активности суммы изотопов урана  $^{238}\text{U}$  +  $^{234}\text{U}$  определены по результатам пяти независимых измерений проб в диапазоне 1110-1450 Бк/л, что близко к содержанию промышленных растворов урана.

В условиях аридного климата растекание дренажей по берегам ручьёв в процессе испарения образует корку желтоватого цвета, состав которой минерализуется в виде слаборастворимых сульфатных и карбонатных комплексов с исключительно высоким содержанием

природных радионуклидов. На берегах ручьев образуются кристаллы с желтой каемкой, представляя собой сульфатные комплексы концентрированного урана с концентрациями до 12-15 тыс. Бк/кг (рисунок 9).



**Рисунок 9.** Кристаллы уранила на берегах ручьев, которые дренируют хвостохранилища г.Истиклола.

Содержание урана в этих пробах определено физико-химическими методами, результаты которых приведены в таблице 4.

**Таблица 4.** Результаты физико-химического анализа хвостохранилищ №1-2 г.Истиклола

№ проб	1	2	3	4	5	6	7	8 (соль – желтые кристаллы)
Содержание урана по результатам химического анализа, %	0.074	0.147	0.097	0.179	0.137	0.075	0.031	0.54
Содержание урана по результатам рентгеноспектрального анализа, %	0.047	0.095	0.11	0.12	0.091	0.051	0.016	0.54
Радиационный фон, мкЗв/ч	0.42	0.61	0.53	0.75	0.62	0.51	0.43	1.13

Выклинивание дренажных вод с высоким содержанием сульфат- и карбонат-ионов, возможно, является следствием несовершенной нейтрализации кислотных и щелочных растворов пульпы в период формирования хвостохранилища.

Проведенные исследования физико-химических свойств шахтных, дренажных урансодержащих вод г.Истиклола и месторождения Киик-Тала показали, что они близки к содержанию промышленных растворов урана.

### **3.2. Исследование сорбционных свойств скорлупы урюка**

С целью очистки урансодержащих шахтных и дренажных вод были использованы растительные сорбенты - скорлупа миндаля, персика и урюка. Результаты химических анализов показали, что в скорлупе миндаля и персика следов урана не наблюдается, а анализ скорлупы урюка показывает содержание урана. Таким образом, скорлупа урюка стала объектом лабораторных исследований.

Учитывая все это, для выбора сорбента использована скорлупа урюка. Скорлупа урюка является дешевым, доступным материалом – отходами консервного комбината на севере Таджикистана, которые составляют сотни тонн каждый год. Коэффициент набухаемости скорлупы равен 1,17. Для определения оптимального режима сорбции провели ряд опытов. Были изучены сорбционные свойства скорлупы урюка в зависимости от размера зерен измельченной скорлупы, от температуры, рН среды и продолжительности выдержки.

Результаты исследования сорбционных свойств скорлупы урюка при постоянном режиме обобщены в таблице 5.

В изученном интервале рН среды степень извлечения урана увеличивается от 5,2% (рН=1,8) до 86,9% (рН=8,0) при температуре 25°С. Кинетические кривые процесса извлечения урана в изученных интервалах температур от 25 до 50°С представлены на рисунке 10. Кинетические кривые удовлетворительно описываются уравнением Ерофеева-Колмогорова:

$$\alpha = 1 - e^{-k\tau^n},$$

где:  $\alpha$  - степень извлечения урана, %;

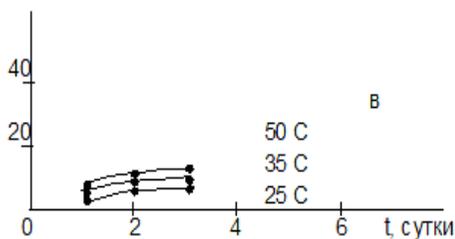
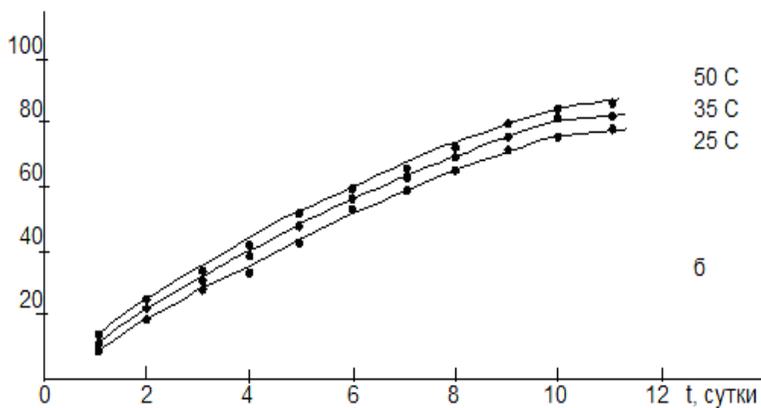
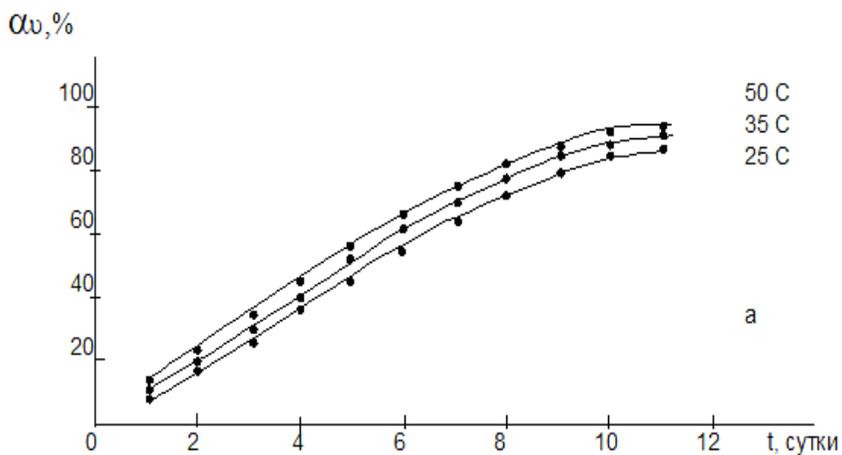
$\tau$  - время, сутки;

$k$  – константа скорости реакции;

$n$  - параметр, зависящий от формы ядра частицы.

**Таблица 5.** Сорбционные свойства скорлупы урюка при постоянном режиме (при  $V=300$  мл;  $m_{\text{сорбента}}=20$  г;  $U=0,023$  г/л;  $\tau_{\text{выдержки}}=5$  часов)

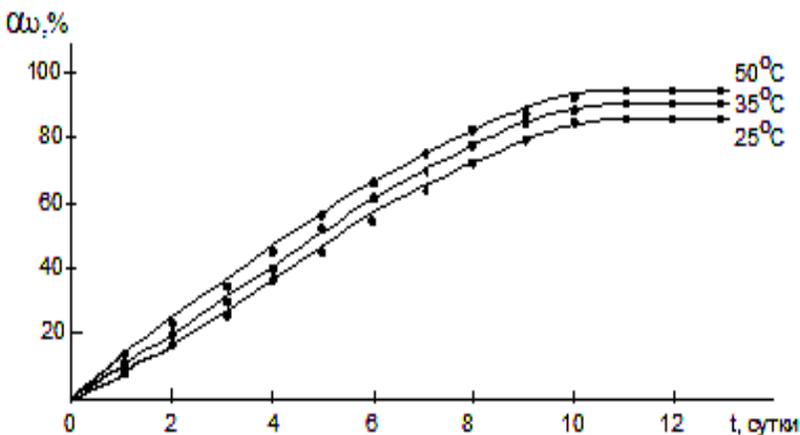
№ п/п	pH	t°C	V, мл	U, г/л	Процент сорбции урана
Размер скорлупы 2 мм					
1	8,0/8,35	20/20	300/297	0,023/0,022	5,3
Размер скорлупы 1 мм					
2	8,0/7,7	20/20	300/285	0,023/0,022	7,4
3	8,0/7,25	35/35	300/290	0,023/0,019	8,2
4	8,0/7,20	50/40	300/294	0,023/0,018	10,0
5	3,65/4,4	20/20	300/294	0,023/0,0215	8,69
6	3,65/5,2	35/35	300/294	0,023/0,020	10,14
7	3,65/4,4	50/40	300/293	0,023/0,020	15,07
8	1,8/1,95	20/20	300/286	0,024/0,0235	0,694
9	1,8/1,9	35/35	300/295	0,023/0,019	3,0
10	1,8/1,85	50/40	300/295	0,024/0,0230	3,75
Размер скорлупы 0,5 мм					
11	8,0/7,9	20/20	300/288	0,0215/0,021	8,46
12	8,0/8,1	35/35	300/295	0,0215/0,020	10,85
13	8,0/8,17	50/40	300/295	0,0215/0,019	14,01
14	3,7/4,15	20/20	300/295	0,0225/0,018	17,6
15	3,7/4,3	35/35	300/295	0,0225/0,018	20,0
16	3,7/4,15	50/40	300/295	0,0225/0,018	21,33
17	1,8/1,82	20/20	300/294	0,035/0,035	2,0
18	1,8/2,5	35/35	300/296	0,035/0,030	3,59
19	1,8/2,05	50/40	300/295	0,035/0,030	4,89
Размер скорлупы 0,25 мм					
20	7,8/7,98	20/20	300/298	0,022/0,0188	15,16
21	7,8/8,1	35/35	300/295	0,022/0,0178	20,44
22	7,9/8,28	50/40	300/292	0,022/0,0168	25,67
23	3,8/4,21	20/20	300/297	0,022/0,013	41,5
24	3,8/4,74	35/35	300/295	0,0222/0,013	44,13
25	3,8/4,37	50/40	300/295	0,022/0,0105	53,07
26	1,8/1,88	20/20	300/297	0,021/0,018	13,07
27	1,8/2,3	35/35	300/294	0,021/0,0178	14,91
28	1,8/1,9	50/40	300/289	0,021/0,018	15,41
<i>Примечание:</i> вход - числитель, выход - знаменатель.					



**Рисунок 10.** Зависимости извлечения урана от продолжительности процесса при  $\text{pH}=8,0$  (а);  $\text{pH}=3,7$  (б);  $\text{pH}=1,8$  (в).

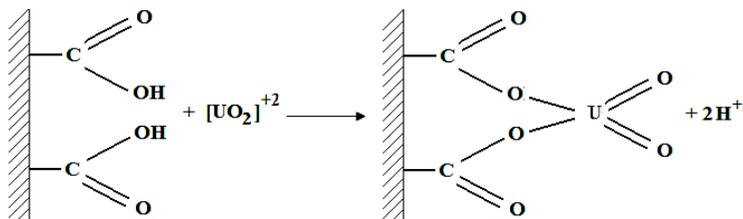
В зависимости от pH среды величина энергии активации процесса сорбции урана увеличивается от 6,0 до 13,0 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в диффузионной области.

Кинетические кривые процесса сорбции урана со скорлупы урюка при разных температурах являются доказательством того, что с повышением температуры увеличивается степень сорбции урана (рисунок 11). Энергия активации процесса сорбции урана, составляет 6,16 кДж/моль.

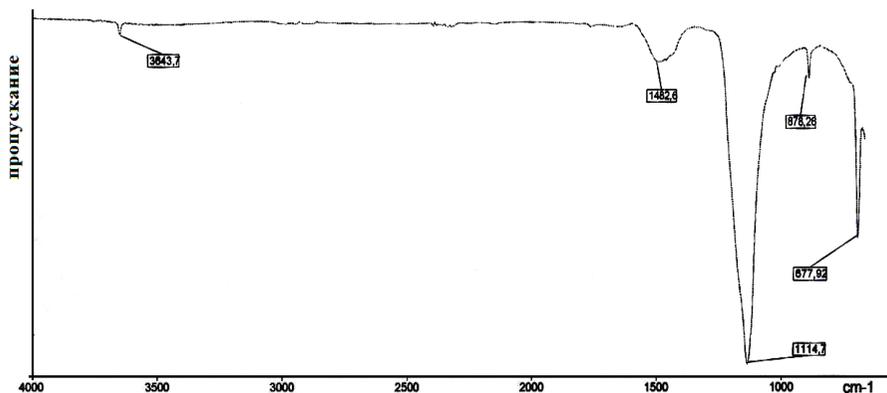


**Рисунок 11.** Зависимость сорбции урана от продолжительности процесса (размер частиц скорлупы менее 2 мм).

В процессе сорбции величина pH раствора снижалась. Этот факт, как и вытеснение с поверхности сорбента водорода с ионами урана, доказывает ионообменный характер сорбции катионов металлов. Химизм ионного обмена может быть представлен следующей схемой, так как растительные сорбенты имеют в своем составе целлюлозу и лигнин:



Еще одно подтверждение ионообменного характера сорбции катионов урана дает анализ ИК-спектров скорлупы урюка после обжига (рисунок 12).



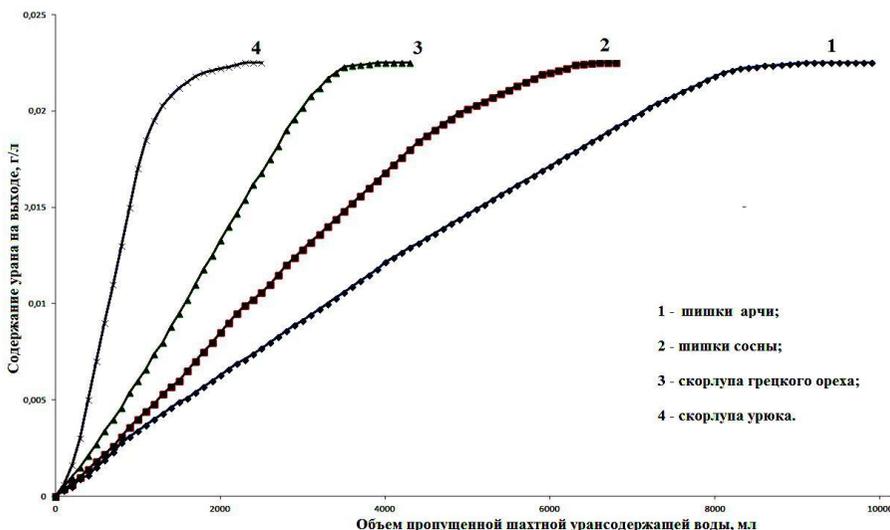
**Рисунок 12.** ИК-спектр скорлупы урюка, насыщенной ураном.

Отличия от ИК-спектра исходного сорбента невелики: интенсивности полос пропускания, обусловленные валентными колебаниями СН–связей в алифатических цепях, а также наличием ОН-группы, практически не меняются. Интенсивность пропускания С=О–группы также практически не изменилась по сравнению с ИК-спектром исходного сорбента, но её положение сместилось. Смещение произошло в низкочастотную область  $1620,5 \text{ см}^{-1}$ , что по литературным данным свидетельствует об ионизации функциональной группы и замещении иона водорода на ион металла.

### **3.3. Сравнительная оценка сорбционных свойств местных сырьевых сорбентов**

Изучение сорбционной емкости сорбентов из растительного сырья показывает, что шишки арчи обладают большой сорбционной емкостью (рисунок 13).

Однако время насыщения сорбента из шишек арчи (90 дней) намного больше, чем для остальных природных сорбентов (таблица 6).



**Рисунок 13.** Зависимость содержания урана на выходе от объёма пропущенной воды через сорбент из растительного сырья.

**Таблица 6.** Сравнительная характеристика природных сорбентов

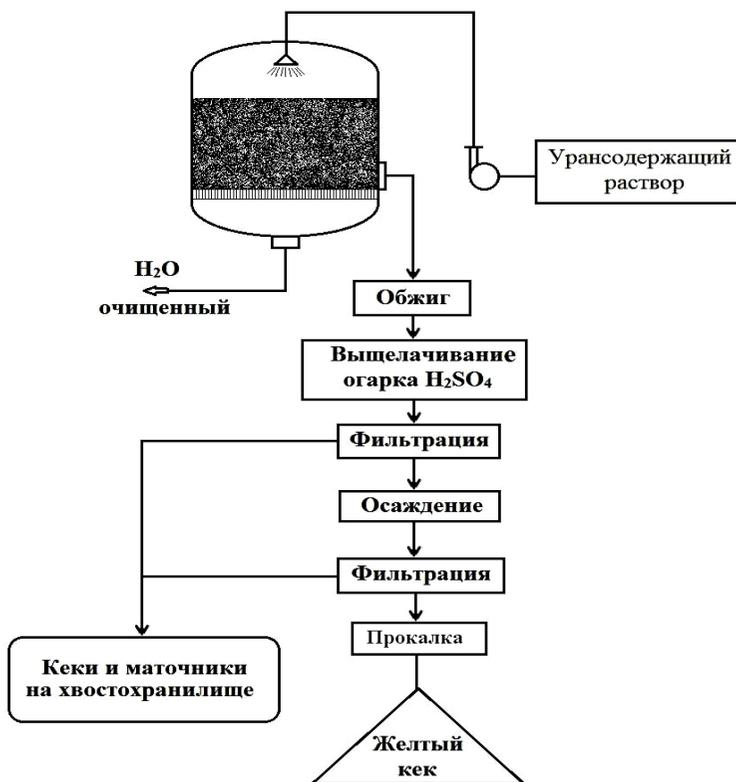
Наименование сорбентов	Сорбционная ёмкость материала, кг/т	Время насыщения ураном, сутки	Количество урана при 90-дневном насыщении, кг/т
Шишки арчи	10	90	10,0
Шишки сосны	6,5	50	11,7
Скорлупа ореха	3,2	25	11,5
Скорлупа урюка	1,72	12	12,9

Анализ данных показал, что скорлупа урюка за один и тот же период времени (90 дней) превосходит перечисленные выше природные сорбенты по объёму.

На рисунке 14 приводится технологическая схема получения уранового концентрата из скорлупы урюка.

На основании проведённых исследований выявлено, что оптимальными условиями проведения процесса являются:

- общее время насыщения сорбента – 12 суток;
- средняя концентрация урана в исходном растворе – 21 мг/л;
- содержание урана в сорбенте – 1.721 кг/т.



**Рисунок 14.** Принципиальная технологическая схема получения уранового концентрата из урансодержащих шахтных вод.

Исходя из результатов экспериментов на пилотной установке, нами для очистки шахтных вод на месторождении Киик-Тал была монтирована опытно-промышленная установка.

#### **4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В работе дан анализ всех хвостохранилищ северного Таджикистана и показана перспективность переработки отходов урана на примере хвостохранилища г.Чкаловска «Карта 1-9»

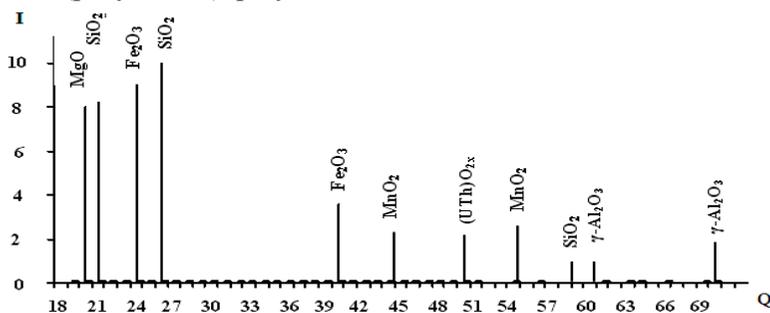
Характеристика исходных проб (содержание урана, гранулометрический состав) приведена в таблице 7.

**Таблица 7.** Гранулометрический состав песков (исходных) Гафуровского (пробы 1-19) и Чкаловского (пробы 20-29) хвостохранилищ

Номер проб	Содержание урана в песках, %	Выход классов, %					
		Крупность классов, меш					
		-30 +48	-48 +80	-80 +100	-100 +150	-150 +200	-200
1	0,016	0,9	3,5	6,8	18,2	29,6	41,0
2	0,014	3,7	6,6	0,5	26,0	44,0	19,1
3	0,010	37,4	6,8	6,8	25,5	8,7	6,8
4	0,012	15,3	2,4	19,6	5,5	6,9	5,9
5	0,012	0,7	5,7	4,3	-	37,1	52,5
6	0,014	0,3	3,8	2,6	-	25,5	67,8
7	0,0135	0,9	5,8	3,6	-	24,7	65,0
8	0,492	4,3	20,6	7,2	-	31,9	36,0
9	0,238	9,1	18,6	8,1	13,2	15,0	34,3
10	0,518	15,3	2,4	9,6	5,5	6,9	60,3
11	0,328	0,3	3,8	2,6	-	25,5	67,8
12	0,312	0,9	5,8	3,6	-	24,7	65,0
13	0,168	3,7	6,6	0,5	16,0	20,0	49,1
14	0,346	7,4	6,8	6,8	25,5	8,7	44,8
15	0,014	15,3	2,4	19,6	5,5	6,9	5,9
16	0,015	0,9	5,8	3,6	-	24,7	65,0
17	0,011	4,3	20,6	7,2	-	31,9	36,0
18	0,176	1,1	28,6	8,1	13,2	15,0	32,3
19	0,100	0,9	3,5	6,8	18,2	29,6	41,0
20	0,016	0,9	3,5	6,8	18,2	25,8	44,8
21	0,018	1,7	6,6	8,5	26,0	21,0	36,2
22	0,031	1,4	6,8	6,8	25,5	23,1	36,4
23	0,027	1,3	2,4	9,6	25,5	19,2	42,0
24	0,027	0,7	5,7	4,3	23,0	26,7	39,6
25	0,011	0,3	3,8	6,6	22,1	32,1	35,1
26	0,013	0,9	5,8	5,6	24,3	28,9	34,5
27	0,016	1,3	5,6	7,2	18,8	26,4	40,7
28	0,012	1,1	3,6	8,1	13,2	38,1	35,9
29	0,008	0,9	3,5	6,8	18,2	32,3	38,3

Анализ табличного материала показывает, что среднее арифметическое содержание урана в хвостах составляет 0,018%.

Минералогический состав хвостов установили рентгенофазовым анализом (рисунок 15), результаты обобщены в таблице 8.



**Рисунок 15.** Штрихдифрактограммы проб, отобранных из Чкаловского хвостохранилища.

**Таблица 8.** Химический состав отходов хвостохранилища «Карта 1-9»

Наименование компонентов хвоста	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	U	Прочие
Содержание компонентов в хвосте, %	69,4	10,7	4,1	2,5	3,8	0,3	0,02	9,18

#### 4.1. Кинетика сернокислотного разложения хвостов из техногенного хвостохранилища «Карта 1-9»

Хвосты техногенного хвостохранилища «Карта 1-9» в основном содержат кварц (69,4%), их подвергали кислотному разложению. Результаты лабораторных исследований по степени вскрытия и перехода урана в раствор приведены в таблице 9.

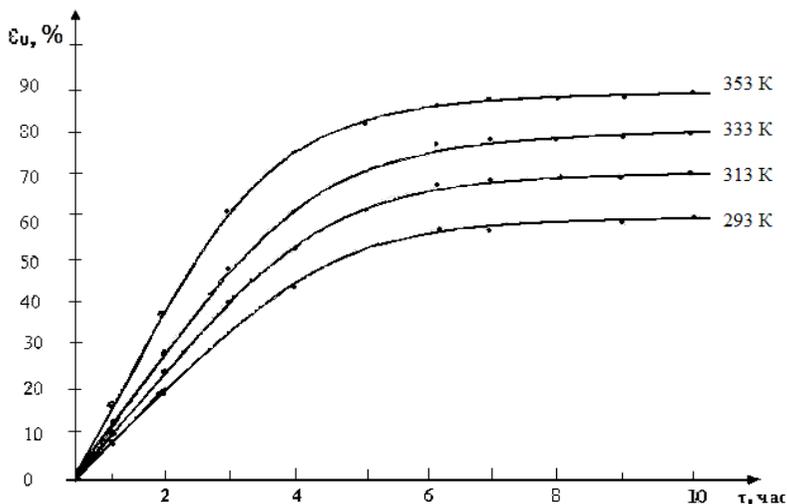
Из таблицы 9 видно, что при сернокислотном вскрытии хвостов, переход урана в раствор составляет 93,85%. Это объясняется тем, что хвосты хорошо обрабатываются серной кислотой. Облегчается также извлечение урана без дополнительного измельчения за счет длительного нахождения хвостового материала в щелочной среде.

С этой точки зрения выщелачивание целесообразно проводить при высоких температурах. Однако, начиная с 80-90°С, происходят

значительные потери тепла, и требуется специальная теплоизоляция аппаратов разложения. Разложение хвостов проведено при 65-70°C с продолжительностью процесса 6 часов и соотношении Ж:Т=1:1 (рисунок 16).

**Таблица 9.** Влияние расхода серной кислоты на извлечение урановых концентратов ( $U=0,018\%$ ,  $t=20^\circ\text{C}$ ,  $\tau=10$  часов)

Соотношение Т:Ж=1:1		Соотношение Т:Ж=1:2	
расход серной кислоты, кг/т хвостов	извлечение урана в раствор, %	расход серной кислоты, кг/т хвостов	извлечение урана в раствор, %
60	3	60	4
90	20	90	25
100	31	100	37
110	37	110	42
120	39	120	43
130	41	130	48
180	53	180	60
350	55	350	61



**Рисунок 16.** Зависимость степени извлечения урана от продолжительности процесса при сернокислотном разложении хвостов из техногенного хвостохранилища «Карта 1-9».

Кинетика процесса при оптимальном расходе серной кислоты 180 кг/т в интервале температур 293-353 К исследовалась в изотермических условиях с выдержкой пульпы в течении 10 часов в термостатированном реакторе.

В изученном интервале температур степень извлечения урана увеличивается от 60 до 90%. Кинетические кривые разложения хвостов исследовали при температурах 293, 313, 333 и 353 К. В течение 2,5-3 часов процесс разложения протекает линейно.

На основе обработки кинетических кривых была определена экспериментальная энергия активации, равна 6 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса в диффузионной области (таблица 10). Проведенные исследования раскрывают механизм протекания процесса серноокислотного разложения хвостов и дают возможность выбора рационального режима извлечения урана из хвостов.

**Таблица 10.** Кинетические параметры процесса разложения хвостов техногенного хвостохранилища «Карта 1-9»

Расход кислоты при разложении, кг/т	Температура разложения, К	Скорость разложения, %/час	Экспериментальная энергия активации, кДж/моль
180	293	1,00	6,0
	313	1,23	
	333	1,54	
	353	1,96	

В работе также изучена возможность вторичной переработки Гафуровского хвостохранилища.

## **5. ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ УРАНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛАНТАНОИДОВ И АКТИНОИДОВ**

Знание термодинамических характеристик исследуемых систем и их отдельных компонентов позволяет разработать научно обоснованные, оптимальные условия проведения технологических процессов и установить взаимосвязь между термодинамической активностью реагентов и условиями осуществления химических

реакций. Поэтому считаем целесообразным проведение исследования термических и термодинамических свойств основных компонентов изученных систем.

Проведен сравнительный анализ имеющихся немногочисленных сведений о термических и термодинамических свойствах сходных соединений лантаноидов и актиноидов. Полученные термодинамические характеристики соединений лантаноидов и актиноидов пополняют банк термодинамических величин новыми данными. Эти сведения позволяют установить закономерности изменения термических и термодинамических характеристик сходных соединений лантаноидов и актиноидов в зависимости от их природы.

### 5.1. Термодинамическая оценка процесса извлечения урана

Растворение триоксида урана  $UO_3$  в растворах серной кислоты протекает быстро и легко. В соответствии с термодинамическими данными для реакции



$\Delta G^{\circ}_{298}$  равно -20 ккал/моль. При концентрациях реагентов, которые обычно используют на практике  $[UO_2^{2+}] = 0,01$  М и  $[H^+] = 0,01$  М (рН = 2), значение

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln ([UO_2^{2+}] / [H^+]^2) = -17,3 \text{ ккал/моль}$$

благоприятно для протекания реакции разложения.

Рассмотрим некоторые данные о комплексообразовании уранил-иона с сульфат- и бисульфат-ионами в водных растворах:

Реакция	Константа образования
$UO_2^{2+} + HSO_4^- \leftrightarrow [UO_2SO_4] + H^+$	5-6,5
$UO_2^{2+} + SO_4^{2-} \leftrightarrow [UO_2SO_4]$	50-96
$UO_2^{2+} + 2 SO_4^{2-} \leftrightarrow [UO_2(SO_4)_2]^{2-}$	350-900
$UO_2^{2+} + 3 SO_4^{2-} \leftrightarrow [UO_2(SO_4)_3]^{4-}$	2500

Обычно в растворе присутствуют фактически все три формы комплексов. Растворимость в воде уранилсульфата  $[(UO_2SO_4)(H_2O)_3]$  или  $UO_2SO_4 \cdot 3H_2O$ , кристаллов лимонно-желтого цвета, очень велика. Она составляет 61,2 мас% при 25°C.

## 5.2 Термодинамические характеристики термического разложения нитрата тория (IV), нитрата и сульфата уранила

Из желтого кека по традиционной методике получены кристаллогидраты уранила  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Для сравнительной оценки изучены термодинамические характеристики также  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

В литературе приведены обобщенные схемы процесса термического разложения кристаллогидратов актиноидов. Показано, что процесс может протекать по разным схемам в зависимости от условий проведения.

В проведённых нами исследованиях методом тензиметрии с мембранным нуль-манометром в равновесных условиях показан ступенчатый характер процесса дегидратации кристаллогидратов актиноидов и возможности разделения процесса дегидратации кристаллогидратов и получения дегидратированных соединений тория и урана.

В работе приведены результаты исследования термического разложения нитратов тория (IV), нитрата уранила и сульфата уранила в равновесных условиях. Исследование проведено статическим методом с мембранным нуль-манометром. Температура в мембранной камере измерена с точностью  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ , давление  $\pm 100$  Па.

Экспериментальные данные кривых барограмм, приведённые в виде зависимости  $\lg P$  от обратной температуры, обработаны по методу наименьших квадратов при доверительном уровне свыше 95% с использованием  $t$ -значения коэффициента Стьюдента. По полученным уравнениям прямых линий рассчитаны термодинамические характеристики процесса.

Расчет термодинамических характеристик индивидуальных соединений произведён с учётом числа молей ( $n$ ) газообразных продуктов реакции по формулам:

$$K_p = P^n; \lg K_p = n \lg P; \Delta G = -RT \cdot \lg K_p \quad \text{и} \quad \Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

и с учётом аддитивности термодинамических характеристик параллельно протекающих процессов (таблица 11). Заметное расхождение в значениях энтропии индивидуальных соединений объясняется температурным фактором, отсутствием сведений о теплоёмкости компонентов и их изменений в температурных интервалах.

**Таблица 11.** Термодинамические характеристики соединений актиноидов

Соединения	$-\Delta_f H$ , кДж/моль		$S_T^0$ , Дж/моль·К	
	литература	наши данные	литература	наши данные
$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	3200,4	3035±25	528	-
	3167,72,5		505,4±2,5	
$UO_2(NO_3)_2 \cdot 5H_2O$	-	2766±25	-	846±42
$UO_2(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$	2507,3	2093±25	410	695±42
	2280,3±2,5		368,9±3	
$UO_2(NO_3)_2$	1390±29	1247±15	241	516±23
	1353,2±3		-	
$UO_2SO_4 \cdot 3H_2O$	2791,8	2383,1±25	264	-
$UO_2SO_4 \cdot 2H_2O$	-	2128±25	-	482±42
$UO_2SO_4$	1889,1	1658±25	155	298±42
$UO_3$	1223,8	1197,8±12	99,4	123±15
$Th(NO_3)_4$	1461,5	1366,3±15	-	651±23

### 5.3. Сравнительный анализ термодинамических характеристик лантаноидов и актиноидов

Из литературных источников известно образование оксидов лантаноидов и актиноидов со степенью окисления (+2), (+3) и (+4). Получены и охарактеризованы оксиды лантаноидов со степенью окисления (+2) – La, Ce, Pr, Nd, Sm и Eu, также оксиды актиноидов со степенью окисления (+2) – Th, U, Np, Pu и Am. В литературе приведены расчетные и экспериментальные величины энтальпии образования оксидов лантаноидов и некоторых актиноидов со степенью окисления (+3), (+4).

Данная работа посвящена получению более полных сведений об энтальпии образования оксидов и комплексных гидридов лантаноидов и оксидов актиноидов, сравнению их и выявлению общей закономерности в изменениях этой характеристики от порядкового номера металлов. Расчет энтальпии образования указанных оксидов лантаноидов и актиноидов произведен полуэмпирическим методом. Расчет произведен корреляционным уравнением:

$$\Delta_f H_{298, M_x O_y}^0 = \Delta_f H_{298, M_x O_y}^0 + \alpha N_f + \beta S + \gamma'(L_A)(\gamma''(L_B)), \quad (5.1)$$

где:  $N_f$  - число f-электронов, S и L - значения спиновых и орбитальных угловых моментов движения основного состояния ионов лантаноидов и актиноидов. Коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma'$  и  $\gamma''$  определяют вклад каждого из составляющих в величину энтальпии образования оксидов.  $M'$  - лантаноиды и актиноиды, за исключением  $M''M''$  – для La и Ac. A - элементы первой подгруппы и B - элементы второй подгруппы лантаноидов и актиноидов.

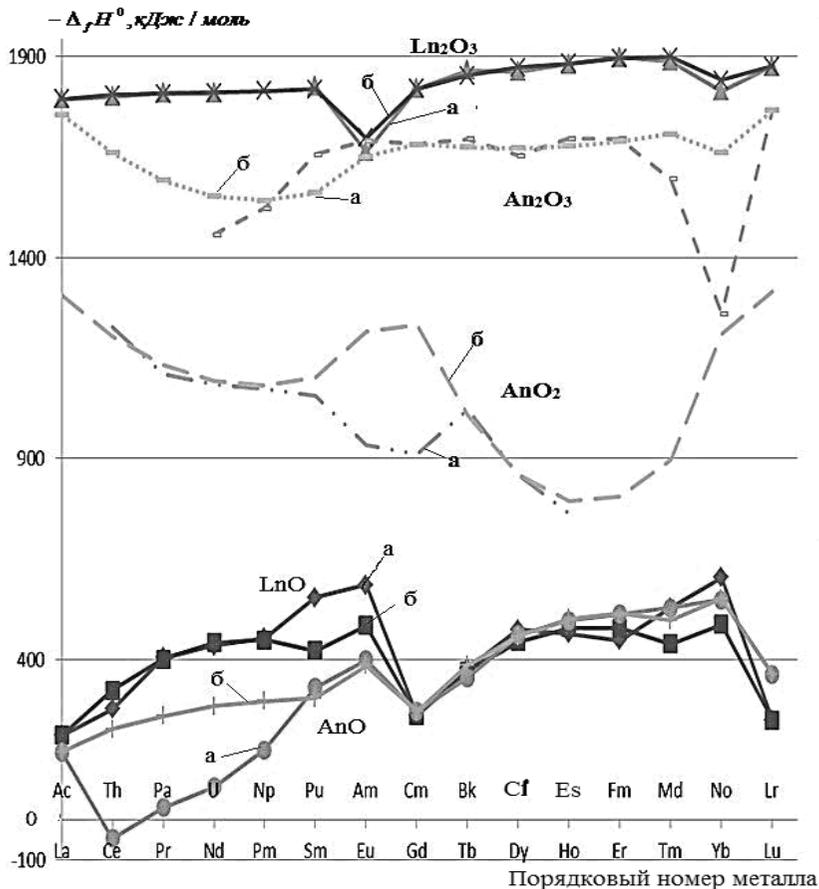
Рассчитанные нами значения коэффициентов уравнения (5.1) приведены в таблице 12. Значения коэффициентов показывают влияние каждого члена уравнения (5.1) на величину энтальпии образования оксидов. Полученные таким образом величины стандартных энтальпий образования оксидов приведены на рисунке 17.

**Таблица 12.** Значения коэффициентов корреляционного уравнения (5.1)

Коэффициенты	Оксиды				
	MeO		Me <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		MeO <sub>2</sub>
	Ln	Ac	Ln	Ac	Ac
$\alpha$	-2.71	-13.93	-5.90	-0.71	-0.71
$\beta$	-8.86	-1.29	4.52	22.56	22.56
$\gamma'$	-34.5	-9.4	0.25	28.01	30.50
$\gamma''$	-36.8	-29.3	-6.07	6.90	79.50

Эти данные позволили установить закономерности в изменениях энтальпии образования оксидов в зависимости от порядкового номера лантаноидов и актиноидов (рисунок 17). Как видно из рисунка 17, эти закономерности имеют идентичный характер с проявлением известного тетрад-эффекта в пределах естественного ряда сходных оксидов лантаноидов и актиноидов. В работе также рассчитаны некоторые энергетические и термодинамические характеристики 4f-элементов. Рассмотрена термическая устойчивость комплексных гидридов 4f-элементов, установлены процессы десольватации соединений 4f-элементов общей формулы  $Ln(BH_4)_3 \cdot nTГФ$  ( $Ln=4f$ -элемент,  $n=2\div 3$ , ТГФ – тетрагидрофуран) и определены термодинамические характеристики отдельных ступеней

десольватации и разложения  $Ln(BH_4)_3$ .



**Рисунок 17.** Зависимости энтальпии образования оксидов лантаноидов и актиноидов от порядкового номера металлов (а - литературная, б - расчетная).

Полученные термодинамические характеристики по соединениям 4f- и 4f-элементов позволили выявить, что наблюдается симбатное изменение и увеличение величин энтальпии образования и энергии кристаллической решётки комплексов. Кривые изменения термодинамических свойств в зависимости от порядкового номера 4f- и 5f-элементов проявляют тетрад-эффект с чётким разделением подгрупп соответствующих редкоземельных металлов и актиноидов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены экспериментальные данные, позволяющие рекомендовать местные сырьевые ресурсы Таджикистана для получения урановых концентратов.

Рассматриваются вопросы переработки отходов урановой промышленности, извлечения урана из руд Таджикистана, а также выделения урана из природных урансодержащих вод. На основании проведенных исследований и паспортизации всех хвостохранилищ северного Таджикистана установлено, что для вторичной переработки из существующих техногенных отходов наиболее целесообразной является «Карта 1-9».

Рентабельность переработки отходов зависит от ряда факторов: доступности серной кислоты, возможности транспортировки, стоимости урана на мировом рынке и т.д. Существует ряд способов переработки отходов с возможным извлечением урана. Однако они требуют высоких экономических затрат. В связи с этим, целью нашего исследования является получение  $U_3O_8$  по усовершенствованной технологии.

Исследовалось применение активированных бентонитовых глин для выяснения механизма сорбционных свойств сточных вод. Как показывают полученные экспериментальные данные, после снижения жесткости воды увеличивается сорбция урана на скорлупу урюка. При повышении температуры раствора степень извлечения урана также возрастает. Насыщенную ураном скорлупу можно перерабатывать классическим способом. Однако использование пушонки на стадии осаждения желтого кека из десорбата считается выгодным. Исследования показали, что использование пушонки на стадии осаждения способствует экономии аммиачной воды.

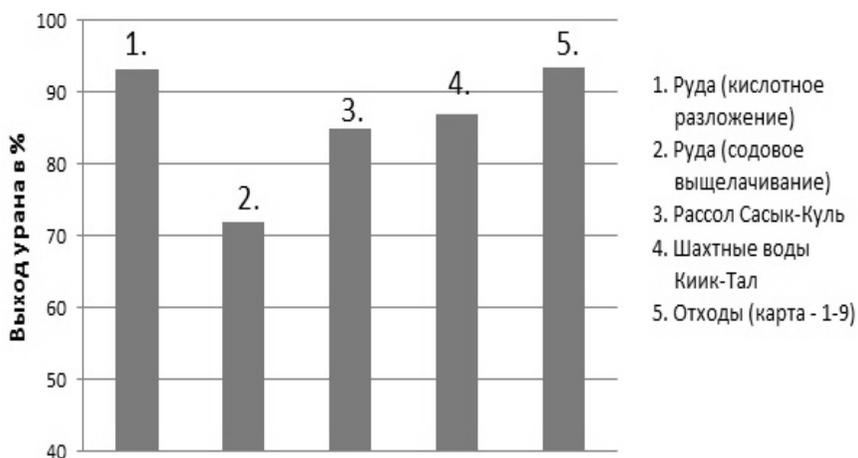
Бентонитовые глины после умягчения воды рекомендуется использовать в качестве материала для покрытия поверхности хвостохранилища, с целью уменьшения выделения радона, снижения гамма-фона на поверхности и разноса песковой фракции по окрестностям.

Изучена характеристика шахтных и дренажных вод отходов урановой промышленности. Характеристики шахтных и дренажных вод месторождения Киик-Тал и г.Истиклола показали целесообразность выделения из них закиси-оксида урана.

Изучена кинетика сорбционного процесса извлечения урана из шахтных и дренажных вод с использованием природных сорбентов - скорлупы урюка, скорлупы грецкого ореха, шишек арчи и сосны. Выявлена бифункциональность сорбента из растительного сырья.

Исследована кинетика сернокислотного разложения из техногенного хвостохранилища «Карта 1-9». Проведенные исследования раскрывают механизм протекания процесса сернокислотного разложения хвостов и дают возможность выбора рационального режима извлечения  $U_3O_8$ .

На рисунке 18 представлены результаты исследования извлечения урана из различных сырьевых ресурсов Таджикистана.



**Рисунок 18.** Извлечение урана из различных сырьевых ресурсов Таджикистана.

Как видно из рисунка 18, извлечение урана из отходов и руды при кислотном разложении составляет свыше 93%.

Разработана принципиальная технологическая схема переработки урановых отходов хвостохранилищ, а также схема получения урановых концентратов из шахтных и дренажных вод отходов урановой промышленности, которая состоит из следующих стадий: подкисление, сорбция, обжиг, разложение, осаждение, фильтрация, сушка.

Схема переработки урановых руд и отходов от классической схемы отличается тем, что в процессе перед осаждением диураната

аммония из десорбата известняком нейтрализуется часть избыточной кислоты. Применение такой технологической схемы переработки урановых руд позволяет экономить аммиачную воду в несколько раз. Извлечение урана на стадии осаждения составляет 99%.

Разработанная схема извлечения урана из рапы озера Сасык-Куль состоит из следующих основных стадий: выпаривание, выщелачивание, удаление хлор-иона, сорбция, десорбция, осаждение, сушка и прокалка.

Изучением процесса термического разложения нитратов тория (IV) и уранила, также сульфата уранила в равновесных условиях методом тензиметрии установлены характер, схема и температурный интервал всех стадий процесса. Процесс термического разложения нитрата тория и сульфата уранила протекает в одну стадию, нитрата уранила – в две ступени. Вторая ступень разложения исходного нитрата уранила состоит из двух параллельно протекающих процессов разложения  $UO_3$  и  $NO_2$ .

На основании изучения кривых зависимости давления парообразных продуктов разложения составлены уравнения отдельных ступеней процесса. По ним рассчитаны термодинамические характеристики процесса выделения индивидуальных нитратов тория (IV), уранила и сульфата уранила. Учитывая, что в урансодержащем растворе имеются лантаноиды, в работе дана сравнительная характеристика лантаноидов и актиноидов.

Полуэмпирическим методом и методом разностей определены и уточнены величины энтальпии образования оксидов лантаноидов (II) и (III) и актиноидов (II), (III) и (IV). Впервые установлены закономерности в изменениях энтальпии образования оксидов от природы металлов с проявлением тетрад-эффекта.

Таким образом, в работе изложены физико-химические и технологические основы переработки урановых руд и отходов урановой промышленности Таджикистана, а также технология очистки урансодержащих вод местными сырьевыми сорбентами.

## ВЫВОДЫ

1. Физико-химическими методами определены химический и минералогический составы урансодержащих руд и отходов урановой промышленности (хвостохранилищ), а также свойства природных урансодержащих шахтных, дренажных вод и рассолов

озера Сасык-Куль, выявлена целесообразность выделения из них урановых концентратов.

2. На основе физико-химических исследований процессов извлечения урана из урансодержащих руд «Северный Таджикистан»:
  - а) найдены оптимальные параметры сернокислотного разложения: температура  $-75^{\circ}\text{C}$ ; продолжительность процесса - 6 часов; расход серной кислоты - 600 кг/т, со степенью извлечения урана до 93,27%. Определена экспериментальная энергия активации, равная  $3,4 \div 5,6$  кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса разложения в диффузионной области. Данная величина энергии активации подтверждает, что увеличение скорости перемешивания пульпы в два раза почти не оказывает влияния на степень извлечения урана;
  - б) определены физико-химические факторы, влияющие на степени извлечения урана щелочным способом. При этом максимальный выход урана (72%) достигается при следующих условиях: температура -  $80^{\circ}\text{C}$ ; продолжительность содового выщелачивания - 6 часов и расход соды - 200 кг/т;
  - в) разработаны принципиальные технологические схемы переработки урансодержащих руд месторождения «Северный Таджикистан». Схема переработки этих руд отличается тем, что перед осаждением диураната аммония из десорбата известняком нейтрализуется часть избыточной кислоты. Применение данной схемы позволяет сэкономить аммиачную воду в несколько раз. При этом степень осаждения урана составляет 99%.
3. Показана комплексная переработка рассола озера Сасык-Куль, состоящая из следующих стадий: выпаривание раствора, разложение серной кислотой с одновременным улавливанием паров соляной кислоты и выделение уранового концентрата традиционным методом. Выявлено преимущество метода по сравнению с мембранным и методом соосаждения.
4. На основе физико-химических исследований процессов извлечения урана из урансодержащих отходов:
  - а) исследовано сернокислотное разложение и найдены оптимальные параметры проведения процесса: температура -  $65-70^{\circ}\text{C}$ ; продолжительность процесса - 6 часов; расход серной кислоты - 180 кг/т, при этом степень извлечения достигает 93,85%.
  - б) получены кинетические кривые и найдена экспериментальная энергия активации, которая составляет 16 кДж/моль, что свидетельствует о протекании процесса разложения в

- диффузионной области;
- в) разработана принципиальная технологическая схема переработки отходов хвостохранилища «Карта 1-9», которая состоит из следующих операций: репульпация песков, разложение, нейтрализация до разложения «бедных» песков, фильтрация, удаление кека, осаждение урана из раствора аммиаком, фильтрация и прокалка диураната. За счет наличия в старых отвалах нитратов и сульфатов железа возможно полное исключение использования окислителей.
5. Выявлены высокие сорбционные свойства скорлупы урюка по сравнению с другими сорбентами:
- а) определена кинетика сорбционного процесса извлечения урана из шахтных и дренажных вод отходов урановой промышленности. Получены кинетические кривые извлечения урана при различных температурах (293, 313, 333 К) и продолжительностях процесса (1-10 часов). Определена экспериментальная энергия активации, равная 6 кДж/моль, свидетельствующая о протекании процесса в диффузионной области;
- б) найдены оптимальные параметры сорбции и разработана принципиальная технологическая схема извлечения урана из шахтных и дренажных вод, которая состоит из следующих стадий: подкисления, сорбции, обжига, выщелачивания, осаждения, фильтрации, сушки.
6. Разработаны на уровне изобретения способы извлечения урановых концентратов из местных сырьевых ресурсов Таджикистана. Проведенные расчеты свидетельствуют об их экономической эффективности применительно к конкретным технологическим процессам. Ожидаемый экономический эффект 100 тысяч долларов США при добыче одной тонны урана.
7. Изучен процесс термического разложения нитрата и сульфата уранила в равновесных условиях методом тензиметрии, установлены характер, схема и температурный интервал всех стадий данного процесса. Процесс термического разложения сульфата уранила протекает в одну стадию, нитрата уранила – в две ступени. Вторая ступень разложения исходного нитрата уранила состоит из двух параллельно протекающих процессов разложения  $UO_3$  и  $NO_2$ . Для сравнительной оценки также изучены термодинамические характеристики  $Th(NO_3)_4 \cdot 5H_2O$ .

8. Дана сравнительная оценка термодинамических характеристик лантаноидов и актиноидов. Установлены закономерности в изменениях энтальпии образования оксидов в зависимости от порядкового номера лантаноидов и актиноидов. Эти закономерности имеют идентичный характер с проявлением тетрад-эффекта в пределах естественного ряда сходных оксидов лантаноидов и актиноидов.

**Основные результаты диссертации отражены в  
следующих публикациях:**

*Монографии:*

1. Хакимов, Н., Назаров, Х.М., **Мирсаидов, И.У.** Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности. Душанбе: Дониш. 2011. 125 с.
2. Khakimov, N., Nazarov, Kh.M., **Mirsaidov, I.U.** Physico-Chemical and Manufacturing Basis for Uranium Concentratis Production from Wastes of Hydrometallurgical Plants and Technical Waters. Dushanbe. 2012. 210 p.
3. Хакимов, Н., Назаров, Х.М., **Мирсаидов, И.У.** Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов гидрометаллургических заводов и технических вод. Душанбе: Мавлави. 2012. 120 с.
4. **Мирсаидов, И.У.** Физико-химические основы получения урановых концентратов из отходов и сырьевых материалов. Душанбе: Дониш. 2014. 106 с.

*Статьи, опубликованные в журналах и материалах конференций,  
рекомендованных ВАК РФ:*

5. **Мирсаидов, И.У.** Использование местных материалов в качестве сорбента для извлечения урана из сточных шахтных и технических вод горнодобывающих предприятий / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Горный журнал, 2011, №12, с.60-62.
6. **Мирсаидов, И.У.** Системный анализ термодинамических свойств бинарных гидридов лантаноидов / И.У. Мирсаидов, А. Бадалов // Журнал физической химии, 2006, т.80, №9, с.1713-1716.
7. Гафуров, Б.А. Моделирование синтеза и термодинамические характеристики процесса десольватации

- тристетрагидрофуранатов борогидридов лантаноидов / Б.А. Гафуров, **И.У. Мирсаидов**, Д. Насруллоева, А. Бадалов // Журнал физической химии, 2013, т.87, №10, с.1630-1635.
8. Гафуров, Б.А. Термохимические характеристики борогидридных соединений лантаноидов / Б.А. Гафуров, **И.У. Мирсаидов**, Д. Насруллоева, У. Мирсаидов, А. Бадалов // Журнал физической химии, 2014, т.88, №7-8, с.1103-1107.
  9. Gafurov, B.A. Thermal stability and Thermodynamic properties of tris tetrahydrofuranates lanthanide borohydrides / B.A. Gafurov, I. Khakerov, **I.U. Mirsaidov**, A. Badalov // Internation Journal of Hydrogen Energy, 2011, v.36, iss.1, p.1217-1219.
  10. Бадалов, А. Изучение процесса дегидратации гексагидро-уранил нитрата / А. Бадалов, Д.Д. Камалов, Б.О. Хамидов, **И.У. Мирсаидов**, Н.Р. Эшбеков // Докл. АН Республики Таджикистан, 2005, т.48, №8, с.22-25.
  11. Камолов, Д.Д. Термодинамические характеристики процесса термического разложения уранилнитрата / Д.Д. Камолов, **И.У. Мирсаидов**, Н.Р. Эшбеков, Б.О. Хомидов, А. Бадалов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2005, т.48, №9-10, с.12-17.
  12. **Мирсаидов, И.У.** Источники загрязнения реки Сырдарья естественными и искусственными радионуклидами / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов, Х. Муртазаев // Докл. АН Республики Таджикистан, 2005, т.48, №9-10, с.18-23.
  13. **Мирсаидов, И.У.** О возможностях извлечения урана из шахтных вод месторождения Киик-Тал Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2005, т.48, №9-10, с.100-104.
  14. **Мирсаидов, И.У.** Исследование сорбционных свойств скорлупы урюка / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2007, т.50, №1, с.46-50.
  15. **Мирсаидов, И.У.** Кинетика процесса сорбции урана скорлупой урюка / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Б.Б. Баротов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2007, т.50, №6, с.532-535.
  16. Камалов, Д.Д. Термодинамические характеристики процессов дегидратации и термического разложения тригидратоуранилсульфата / Д.Д. Камалов, **И.У. Мирсаидов**, М. Икрамов, А. Бадалов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2007, т.50, №11-12, с.857-861
  17. Суфиев, А.З. Характеристика шахтных вод месторождения Киик-

- Тал Таджикистана / А.З. Суфиев, **И.У. Мирсаидов**, В.М. Миряхъяев // Докл. АН Республики Таджикистан, 2008, №2, с.50-53.
18. **Мирсаидов, И.У.** Миграция урана в системе «Дренажные воды - почва» на территории хвостохранилища №1-2 г. Табошара / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов, В. Миряхъяев // Докл. АН Республики Таджикистан, 2009, т.52, №3, с.224-227.
  19. Рузиев, Д.Р. Умягчение жесткости вод с применением активированных бентонитовых глин / Д.Р. Рузиев, **И.У. Мирсаидов**, М.З. Ахмедов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2010, т.53, №2, с.135-138.
  20. Гафуров, Б.А. Энергия кристаллической решётки комплексных борогидридов лантаноидов / Б.А. Гафуров, Д.Х. Насрулоева, **И.У. Мирсаидов**, Х. Насрулов, А. Бадалов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2011, т.54, №3, с.216-221.
  21. Назаров, Х.М. Осаждение диураната аммония из десорбата / Х.М. Назаров, Н. Хакимов, Б.Б. Баротов, **И.У. Мирсаидов**, М.З. Ахмедов, У.М. Мирсаидов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2011, т.54, №8, с.657-660.
  22. Хакимов, Н. О возможностях извлечения урана из рапы озера Сасык-Куль Таджикистана / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, **И.У. Мирсаидов**, Б.Б. Баротов, У. Мирсаидов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2011, т.54, №9, с.769-733.
  23. **Мирсаидов, И.У.** Поиск и возможности переработки отходов урановой промышленности / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Б.Б. Баротов, М.З. Ахмедов, У.М. Мирсаидов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2011, т.54, №10, с.837-840.
  24. **Мирсаидов, И.У.** Перспективы переработки урансодержащих отходов горной промышленности Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов, Б.Б. Баротов, У. Мирсаидов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2013, т.56, №3, с.222-227.
  25. **Мирсаидов, И.У.** Физико-химические характеристики бифункционального сорбента из растительного сырья / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н.Н. Рахматов, Ф.Дж. Саломов, Ш.Б. Назаров // Докл. АН Республики Таджикистан, 2013, т.56, №8, с.634-638.
  26. **Мирсаидов, И.У.** Физико-химическое состояние урана в шахтных урансодержащих водах и в супесчаных почвах / И.У. Мирсаидов,

- Х.М. Назаров, Н.Н. Рахматов, Ф.Дж. Саломов, Ш.Б. Назаров // Докл. АН Республики Таджикистан, 2013, т.56, №9, с.725-729.
27. **Мирсаидов, И.У.** Изучение сорбционных свойств шишек сосны / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов, З.В. Кобулиев, У.М. Мирсаидов // Докл. АН Республики Таджикистан, 2013, т.56, №10, с.810-815.
  28. **Мирсаидов, И.У.** Конструкционные особенности аппарата для сорбции урана из шахтных и технических вод / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, С.Д. Гафуров // Изв. АН Республики Таджикистан, 2007, №3(128), с.78-82.
  29. **Мирсаидов, И.У.** Технология очистки урансодержащих шахтных и дренажных вод / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов, М.З. Ахмедов // Изв. АН Республики Таджикистан, 2009, №2(135), с.63-71.
  30. Назаров, Х.М. Состояние урана в хвостохранилищах №1-2 г.Истиклола при присутствии гематита / Х.М. Назаров, Б.Д. Бобоев, Н. Хакимов, **И.У. Мирсаидов**, Ф.Дж. Саломов // Изв. АН Республики Таджикистан, 2012, №3(148), с.79-86.
  31. **Мирсаидов, И.У.** Сорбция ионов урана из шахтных и дренажных вод с помощью шишек арчи в динамическом режиме / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, М. Хикматов, У. Мирсаидов, Н.Н. Рахматов // Изв. АН Республики Таджикистан, 2014, №3(156), с.64-69.
  32. **Мирсаидов, И.У.** Термодинамические характеристики ди- и тригидридов лантаноидов / И.У. Мирсаидов, Б.А. Гафуров, А. Бадалов // Материалы IX Междунар. конф. ICHMS-2005. Севастополь – Крым, 2005, с.220-223.
  33. Gafurov, B.A. Thermal stability and thermodynamic properties of tristetrahydrofuranates lanthanide borohidrides / B.A. Gafurov, **I.U. Mirsaidov**, I.Z. Khakerov, A. Badalov // Abstr. of XI Internat. Conf. the Hydrogen Mater. Scien. and chemistry of carbon Nanomaterials, Yalta – Crimea, 2009, p. 276-277.
  34. Гафуров, Б.А. Термическая устойчивость и термодинамические свойства тристетрагидрофуранатов борогидридов лантанидов / Б.А. Гафуров, **И.У. Мирсаидов**, И.З. Хакеров, А. Бадалов // Матер. XI Междунар. конф. «Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов». Ялта – Крым, 2009, с.278-279.
  35. Хамидов, Ф.А. Термодинамика процесса дегидратации

- пентагидронитрата тория (IV) / Ф.А. Хамидов, **И.У. Мирсаидов**, К.М. Назаров, С.К. Насриддинов, А. Бадалов // Вестник Таджикского технического университета (ТТУ), 2010, №2(10), с.234-236.
36. Gafurov, B.A. Production and thermodynamic characteristics of lathanides hexaborides / B.A. Gafurov, **I.U. Mirsaidov**, W.Ya. Saidov, Kh. Nasruloev, A. Badalov // 7<sup>th</sup> International Conference on Rare Earth Development and Application(ICRE2013). -Ganzhou city, Jiangxi province, China, 2013, p.20-21.
37. Рахматов, Н.Н. Сорбция ионов урана из шахтных и дренажных вод с помощью шишек арчи и туи в динамическом режиме / Н.Н. Рахматов, **И.У. Мирсаидов**, Х. Назаров, М. Хикматов, У.М. Мирсаидов // Изв. АН Республики Таджикистан, отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук, 2014, №3 (156), с.64-69.
38. **Mirsaidov I**, Khojiyon M. National Contribution to the organization and carrying out monitoring activities on assessment of radiation and ecological situation in uranium tailings of SE “Vostokredmet”// Waste Management 2015 Conference, Phoenix, Arizona, USA, 15-19 March 2015-15068

*Статьи, опубликованные в других журналах и материалах конференций, а также патенты*

39. **Мирсаидов, И.У.** Экологические риск при переработке отходов урановой промышленности Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Труды 6-ой Международной конференции «Ядерная и радиационная физика», Алматы, Казахстан, 2007, с.528-529.
40. **Мирсаидов, И.У.** Вторичная переработка хвостов техногенного месторождения северного Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Б.Б. Баротов, М.З. Ахмедов, У.М. Мирсаидов // Материалы 12-ой Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы 21 века», Минск, 2012, с.90-93.
41. Хакимов, Н. Определение параметров защитного покрытия хвостохранилищ радиоактивных отходов / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, **И.У. Мирсаидов**, М.З. Ахмедов // Материалы Международного семинара «Урановое наследие Советского Союза в Центральной Азии: проблемы и решения», Душанбе,

- 2012, с.20-24.
42. Khakimov, N. Parameters identification of protection coverage for uranium tailing dumps / N. Khakimov, Kh.M. Nazarov, **I.U. Mirsaidov**, M.Z. Akhmedov // International Conference «Uranium legacy of Union in Central Asia: problems and way forward», Dushanbe, 2012, p.27-33.
  43. **Мирсаидов, И.У.** О возможности переработки отходов урановой промышленности Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Труды 6-ой Международной конференции «Ядерная и радиационная физика», Алматы, Казахстан, 2007, с.530-531.
  44. **Мирсаидов, И.У.** Экологические проблемы урановой переработки отходов промышленности Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Материалы Сахаровских чтений «Экологические проблемы 21 века», Минск, Белоруссия, 2007, с.168.
  45. **Мирсаидов, И.У.** Экологические проблемы извлечения урана из шахтных вод месторождения Киик-Тал Таджикистана / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов // Материалы Сахаровских чтений «Экологические проблемы 21 века», Минск, Белоруссия, 2007, с.169.
  46. Хакимов, Н. Технология извлечения урана из рассолов с высоким содержанием хлор-иона: В сб. «Радиоэкологический мониторинг биосреды и радиационная безопасность Таджикистана» / Н. Хакимов, Х.М. Назаров, **И.У. Мирсаидов**, Ш.И. Негматов, Б.Б. Баротов. Душанбе, 2010, с.138-143.
  47. Назаров, Х.М. Осаждение диураната аммония из десорбата: В сб. «Материалы семинаров «2011 год – международный год химии» и «Радиационная безопасность Таджикистана» / Х.М. Назаров, Н. Хакимов, **И.У. Мирсаидов**, М.З. Ахмедов, У.М. Мирсаидов. Душанбе, 2011, с.41-45.
  48. **Мирсаидов, И.У.** Использование местных сырьевых материалов для адсорбции урана из вод отходов горнодобывающей промышленности Таджикистана: Сборник научных трудов сотрудников Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН РТ / И.У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Н. Хакимов. Душанбе: АЯРБ АН РТ, 2010, с.116-120.
  49. Хакимов, Н. Очистка шахтных и дренажных вод от урана / Н. Хакимов, **И.У. Мирсаидов**, М.З. Ахмедов // Материалы республиканской научно-практической конференции

- «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», Душанбе, 2009, с.238-239.
50. Назаров, Х.М. Умягчение сточных вод с применением активированных бентонитовых глин месторождения Шаршар / Х.М. Назаров, М.З. Ахмедов, **И.У. Мирсаидов** // Материалы региональной научно-практической конференции «Вода - источник жизни», Исфара: ФТУТ, 2013.
  51. Назаров, Х.М. Сорбция урана активированными углями / Х.М. Назаров, А.М. Баротов, **И.У. Мирсаидов**, Н. Хакимов // Материалы Международной научно-практической конференции «Комплексный подход к использованию и переработке угля», Душанбе, 2013, с.42-43.
  52. Камалов, Д.Д., **Мирсаидов, И.У.**, Бадалов, А. и др. – Материалы всероссийского симпозиума «Эффекты среды и процессы комплексообразования в растворах», Красноярск, 2006, с.19-20.
  53. Гафуров, Б.А. Системный анализ термодинамических характеристик борогидридов лантаноидов / Б.А. Гафуров, **И.У. Мирсаидов**, Д.Х. Насруллоева, А. Бадалов // Материалы XVIII Междунар. конф. «Химическая термодинамика в России», 2011, ч.1, с.104.
  54. Гафуров, Б.А. Термодинамические характеристики процессов десольватации и термического разложения борогидридов / Б.А. Гафуров, **И.У. Мирсаидов**, М.С. Исламова, А. Бадалов // XVI Междунар. конф. по химической термодинамике в России, Суздаль, 2007.
  55. Камолов, Д.Д. Термическое разложение и термодинамические характеристики кристаллогидратов и индивидуального сульфата уранила / Д.Д. Камолов, **И.У. Мирсаидов**, Ф.А. Хамидов, А. Бадалов // Материалы республиканской научно-практической конф. «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», Душанбе, Таджикский технический ун-т, 2009, с.47.
  56. Гафуров, Б.А. Получение, термодинамические характеристики процесса термического разложения борогидридов лантана, неодима и самария / Б.А. Гафуров, В.Я. Саидов, **И.У. Мирсаидов**, А. Бадалов // Матер. Междунар. научной конф. «Координационные соединения и аспекты их применения», посвящ. 50-летию химического факультета Таджикского национального ун-та (ТНУ), Душанбе, 2009, с.12.

57. Камалов, Д.Д. Термодинамические характеристики процесса термического разложения уранилнитрата: Сборник научных трудов «Радиоэкологический мониторинг биосреды и радиационная безопасность Таджикистана» / Д.Д. Камалов, **И.У. Мирсаидов**, Н.Р. Эшбеков, Б.О. Хомидов, А. Бадалов. Душанбе: Агентство по ядерной радиационной безопасности АН Республики Таджикистан, 2010, с.41-45.
58. Хамидов, Ф.А. Термодинамика процесса дегидратации пентагидратонитрата тория (IV) / Ф.А. Хамидов, **И.У. Мирсаидов**, К.М. Назаров, С.К. Насриддинов, А. Бадалов: Там же, с.88-91.
59. Хамидов, Ф.А. Термическая устойчивость и термодинамические характеристики процесса дегидратации кристаллогидратов нитрата тория (IV) / Ф.А. Хамидов, **И.У. Мирсаидов**, К.М. Назаров, Р.Х. Хаитов, А. Бадалов: Там же, с.148-152.
60. Gaforov, B.A. Borohydrides of lanthanum: Thermodynamical properties, neodymium and samarium / B.A. Gaforov, **I.U. Mirsaidov**, D. Nasrulloeva, A. Badalov // 17<sup>th</sup> International Conf. on «Solid Compounds of transition elements», Annency, France, 2010, p.38.
61. **Mirsaidov, I.U.** Thermodynamic characteristics of Lantanium, neodymium and samarium borohydrides / I.U. Mirsaidov, D. Nasrulloeva, B.A. Gaforov, A. Badalov: Ibed., p.39.
62. **Mirsaidov, I.U.** Thermodynamic characteristics of de-hydration process of thorium nitrate (VI) / I.U. Mirsaidov, F. Khamidov, A. Badalov: Ibed., p.39.
63. Хомидов, Ф.А. Термическая устойчивость пентагидратонитрата тория / Ф.А. Хомидов, **И.У. Мирсаидов**, К.М. Назаров, А. Бадалов // Материалы республиканской научно-практич. конф. «Проблемы современной координационной химии», Душанбе, ТНУ, 2011, с.44-45.
64. Хомидов, Ф.А. Характерные особенности и термодинамические свойства процесса дегидратации  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  / Ф.А. Хомидов, **И.У. Мирсаидов**, И.З. Хакеров, Ф.Д. Саломов, А. Бадалов // XVIII Междунар. конф. «Химическая термодинамика в России», Самара, 2011, ч.1, с.141.
65. Гафуров, Б.А. Энергия кристаллической решетки комплексных тетрагидроалюминатов лантаноидов / Б.А. Гафуров, **И.У. Мирсаидов**, Х. Насруллоев, Д.Т. Исоев, А. Бадалов // Материалы

- Республиканской научно-практич. конф. «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии», Душанбе, ТТУ, 2011, с.27-29.
66. Гафуров, Б.А. Системный анализ термических и термодинамических характеристик бинарных гидридов элементов IA, IIA подгрупп и лантаноидов / Б.А. Гафуров, **И.У. Мирсаидов**, У. Мирсаидов, А. Бадалов // Abstract from Tajikistan for 5th World Hydrogen Technologies Convention, WHTC-2013, Shanghai, China, 2013.
  67. Гафуров, Б.А. Закономерности в изменениях термодинамических характеристик борогидридов лантаноидов / Б.А. Гафуров, **И.У. Мирсаидов**, Д.Х. Насруллаева, Х. Насрулоев, А. Бадалов // Труды XIV Междунар. конф. по термическому анализу и калориметрии в России (RTAC-13), СПб, СПбГПУ, 2013, с.54.
  68. Хамидов, Ф.А. Энтальпия образования различных оксидов актиноидов / Ф.А. Хамидов, **И.У. Мирсаидов**, К.М. Назаров, А. Бадалов // Республ. конф. проф.-препод. состава Таджикского аграрного университета им.Ш.Шотемура, Душанбе, 2014.
  69. **Мирсаидов, И.У.** Физико-химические основы выделения урановых концентратов из отходов урановой промышленности / И.У. Мирсаидов, Б.Б. Баротов, Ф.А. Хамидов, Ж.А. Мисратов, Х.М. Назаров // Материалы Междунар. научно-практич. конф., посвящ. 115-летию персидско-таджикского учёного-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакра Мухаммада ибн Закария Рази, Душанбе, 2015, с.16-17.
  70. Хамидов, Ф.А. Оценка энтальпии образования оксидов 4f- и 5f-элементов / Ф.А. Хамидов, А. Бадалов, **И.У. Мирсаидов**, А.М. Баротов, И.З. Хакёров: там же, с.18-19.
  71. Рузиев, Д.Р. Очистка урансодержащих вод с применением активированных бентонитовых глин // Д.Р. Рузиев, **И.У. Мирсаидов**, М.З. Ахмедов, Б.Б. Баротов, К.М. Назаров: там же, с.73-74.
  72. Назаров, Х.М. Природные сорбенты для очистки урансодержащих вод // Х.М. Назаров, Н.Н. Рахматов, **И.У. Мирсаидов**, Ф.Дж. Саломов, Ж.А. Мисратов: там же, с.74-75.
  73. Назаров, Х.М. Кинетика процесса выщелачивания супесчаных урансодержащих почв / Х.М. Назаров, **И.У. Мирсаидов**, Н.Н. Рахматов // Материалы XII Нумановских чтений «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике

- Таджикистан. – Душанбе, 2015, с. 80-83.
74. Рахматов, Н.Н. Извлечение урана из серноокислотных растворов супесчаных почв с промышленным сорбентом АМ (n) / Н.Н. Рахматов, **И.У. Мирсаидов**, Х.М. Назаров, Н. Хакимов: там же, с. 83-84.
  75. Рахматов, Н.Н. Физико-химическое состояние урана в супесчаных почвах / Н.Н. Рахматов, **И.У. Мирсаидов**, Х.М. Назаров: там же, с. 84-86.
  76. **Мирсаидов, И.У.** Опытнo-промышленные испытания сорбционных свойств местных сырьевых материалов при очистке урансодержащих руд / И.У. Мирсаидов, Ф.А. Хамидов, Н. Рахматов: там же, с. 72-73.
  77. Патент ТҶ 108. Способ переработки отходов урановой промышленности / **И.У. Мирсаидов**, Х.М. Назаров, Н. Хакимов. Заявка №0700103 от 04.05.2007 г.
  78. Патент ТҶ 109. Способ извлечения урана из шахтных вод / Н. Хакимов, **И.У. Мирсаидов**, Х.М. Назаров. Заявка №0700104 от 04.05.2007 г.
  79. А.С. Природный сорбент и индикатор для урана. Свидетельство о регистрации интеллектуального продукта / **И.У. Мирсаидов**, Н. Хакимов, Х.М. Назаров, Б.Б. Баротов. - Номер и дата регистрации 0184 ТҶ от 16.09.2009.
  80. Малый патент ТҶ 678. Способ очистки шахтных и дренажных вод от урана / Х.М. Назаров, И.У. Мирсаидов, М.З. Ахмедов, Н.Н. Рахматов. – Заявка № 1400867. Заявл. 02.07.2014. Зарег. 13.03.2015.

Разрешено в печать 06.01.2016. Подписано в печать  
07.01.2016. Формат 60x84 1 /16. Бумага офсетная.  
Гарнитура литературная. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 2,0. Тираж 150 экз. Заказ № 04

---

Отпечатано в типографии ООО «Андалеб-Р».  
734036, г. Душанбе, ул. Р. Набиева 218.  
E-mail: andaleb.r@mail.ru