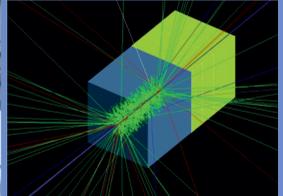


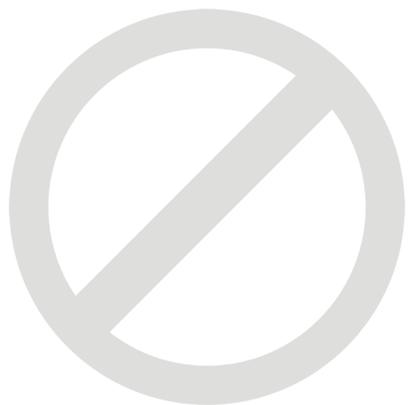


# ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

## Республики Казахстан

Выпуск 11





# **Ядерный потенциал Республики Казахстан**

Астана  
2014

## «ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ»

**М.Д. Акжаркенов**

ТОО «СП «Бетпак Дала», рудник «Южный Инкай», РК

ББК 31.4я 43  
Я34

Я34 Ядерный потенциал Республики Казахстан: Сборник докладов, выпуск 11, 2014 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». — Астана, 2014, 192 стр.

ISBN 9965-32-597-9

Семинары «Ядерный потенциал Казахстана» организуются ассоциацией «Ядерное общество Казахстана» ежегодно для молодых специалистов ядерных предприятий. Каждый семинар проходит на базе разных предприятий ядерной отрасли.

### Цели и задачи:

- активизация творческой деятельности и поддержка научного и технического творчества молодых ученых и специалистов ядерных предприятий;
- содействие профессиональному росту молодежи, развитию молодежных научных инициатив и закреплению молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК;
- представление, защита и реализация профессиональных, интеллектуальных, юридических интересов и прав молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК.

На семинарах обсуждаются проблемы уранодобывающей промышленности; производства ядерного топлива; атомной энергии; ядерной физики, радиозкологии, геофизики; юридические, макроэкономические и образовательные аспекты в ядерной отрасли.

В семинарах ежегодно принимают участие представители организаций ядерного профиля: НАК «Казатомпром», АО «Ульбинский металлургический завод», НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК, ИЯФ НЯЦ РК, КАТЭП-АЭ, а также студентов КазНУ им.Аль-Фараби и КазНТУ им.Сатпаева.

По единодушному мнению участников семинары являются весьма полезными, стимулирующими к дальнейшему взаимодействию.

ББК 31.4я 43

ISBN 9965-32-597-9

### ВВЕДЕНИЕ

Динамичное развитие экономики и рост благосостояния населения страны делает все более актуальным вопрос обеспечения возрастающих потребностей различных отраслей экономики в электрической и тепловой энергии. В условиях ожидаемого существенного мирового роста численности населения и прогнозного мирового роста энергопотребления, основные на сегодняшний день энергоносители, такие как уголь, газ, нефть иссякают все более быстрыми темпами и по различным прогнозам могут исчерпать себя во второй половине XXI века, что делает актуальной своевременную подготовку новой энергетической технологии.

В ежегодных Посланиях Президента Республики Казахстан народу Казахстана сформулирована стратегическая задача значительного ускорения темпа развития экономики страны, в первую очередь за счет широкомасштабного внедрения высоких технологий и наукоемких производств, которые выступили бы надежным фундаментом для форсированного и устойчивого развития экономики в целом.

Программа развития минерально-сырьевой базы урана на 2007-2030 гг., предусматривающая расширение сырьевой базы урана и обеспечения действующих уранодобывающих предприятий АО «НАК «Казатомпром» необходимыми запасами урана.

В 2008 году по добыче урана Казахстан уже вышел на 2 позицию в мире после Австралии, добыв 8 512 тонн урана в концентрате.

В декабре 2009 года Республика Казахстан вышла на первое место по добыче урана в мире. Добыча природного урана на 21 декабря 2009 г. составила 13 500 тонн. До конца года было добыто еще 520 тонн.

Объем добычи урана в Республике Казахстан в I квартале 2010 года составил 4 060 тонн, что на 63% выше аналогичного периода прошлого года. Такая динамика роста была достигнута благодаря увеличению объемов производства практически на всех предприятиях холдинга, в том числе на рудниках ТОО «Бетпак Дала».

### ПРИМЕНЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НА РУДНИКЕ ПСВ СОРЕБЦИОННЫХ НАПОРНЫХ КОЛОНН ТИПА СНК-3000 ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Со стороны государства перед компанией ТОО «СП «Бетпак Дала» ставится задача максимально эффективно использовать и развивать ураново-рудные ресурсы в соответствии с утверждёнными государством контрактами на недропользование, наращивать производственный и технологический потенциал Казахстана на долго-

срочную перспективу. Добыча и реализация природного урана остается главной сферой деятельности компании, в зависимости от потребностей мирового рынка. Ресурсы и производственные мощности позволяют компании достичь двух и более тыс. тонн закись-окись урана в год. Проработано несколько сценариев развития производства.

Чтобы увеличить производительность продуктивных растворов, необходимы решения, которые обладают максимальным набором достоинств и минимальным количеством ограничений по эксплуатации и затрат на капитальные ремонтные работы СНК 3000.

Проведенный анализ эксплуатации нержавеющей стали СНК-3000 показал, что по причине коррозии, до первого ремонта потребовалось менее 120 суток, что можно увидеть на рисунке 1.



Рисунок 1. Общий вид колонны из нержавеющей стали

Ключевыми факторами в развитии коррозионных процессов являются: коррозия обусловленная высокой минерализацией, содержанием растворенных активных компонентов и микробиологической коррозией. На наличие коррозионных химических факторов накладываются прочие условия эксплуатации.

### ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

В связи с проблемами коррозии нержавеющей стали СНК-3000, для сокращения затрат на постоянные ремонтные работы, было принято решение впервые в Казахстане внедрить полиэтиленовые колонны производства «WeberKunststofftechnik» СНК-3000. На основе изучения и анализа условий различных производств видно, что применение сорбционных напорных колонн компании «WeberKunststofftechnik»

СНК-3000 позволяет максимально использовать внутрипроизводственные резервы и повысить его эффективность и рентабельность.

Можно разработать и экономически обосновать мероприятия по реализации этих резервов, тем самым обеспечить улучшение технико-экономических показателей работы предприятия и снижение себестоимости конечного продукта (рисунок 2).



а)

б)

Рисунки 2. Общий вид сорбционно-напорных колонн СНК-3000  
а) из нержавеющей стали 10X17H13M2T,  
б) из полиэтилена WK-8000 PE RC-100

### ПРЕИМУЩЕСТВО ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ КОЛОНН WK-8000 PE RC-100

Полиэтиленовая колонна обеспечивает 100%-ную стойкость материала к агрессивной среде в частности к серной и соляной кислоте. Коррозия материала или его износ в процессе эксплуатации исключены. Оборудование не требует плановых ремонтно-восстановительных работ, экономия на ремонтных работах и повышение производительности труда и окупаемости оборудования. Свойства полиэтилена таково, что он не принимает на себя радиоактивное излучение. Таким образом, даже после длительного использования оборудования, его можно утилизировать с минимальными затратами. Теплопроводность материала гораздо ниже, чем у стали, что существенно снижает температуру в цехе в летнее время. Безопасность и простота в обслуживании, что напрямую повышает качество и производительность труда. Эксплуатация оборудования проще и безопаснее для обслуживающего персонала.

Например, за всеми процессами в колонне, можно наблюдать через смотровые окна. Внешний вид оборудования, гораздо эстетичней и современной, что опять

же косвенно, но влияет производительность труда сотрудников. Низкий удельный вес оборудования, что снижает трудоемкость монтажа и демонтажа и дополнительные затраты на кранотранспортное оборудование. Так же снижает затраты на строительные работы (статические нагрузки на пол цеха существенно ниже, соответственно и уменьшается объем затраченного материала на строительство) показано на рисунке 3 и в таблице 1.



Рисунки 3. Общий вид монтажных работ сорбционно-напорных колонн СНК-3000 (WK-8000 PE RC-100) на руднике «Южный Инкай»

Таблица 1. Сравнительные особенности сорбционно-напорных колонн

№ п/п	Данные по СНК	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Примечание
1	Поставщик	ABS Infinity	Машзавод	Гидросталь	
2	Материал	WK-8000 PE RC-100	Сталь н/ж 10X17H13M2T	Сталь н/ж 10X17H13M2T	
3	Производительность, м <sup>3</sup>	250-300	250-300	250-300	
4	Рабочее давление, бар	1,5	1,5	1,5	
5	Рабочий объем, м <sup>3</sup>	58	55	55	
6	Гарантийный срок поставщика, год	1	1	1	
7	Срок службы, год	10	10	10	
8	Срок поставки, дней	126	120	По согласованию	
9	Стоимость колонн с бункером без шпальтовых кассет, без НДС, тенге	38 684 223	33 091 080	32 699 544	Цена 2011 г. при установке колонн.

10	Стоимость монтажных работ, без НДС, тенге	8 614 837	12 726 174	45 334 638	Разница в стоимости оборудования за счет веса оборудования
11	ИТОГО затраты на приобретение и монтаж, тенге	47 299 060	45 726 174	45 334 638	
12	Затраты на нанесение антикоррозионной защиты, тенге	0	6 000 000	6 000 000	Цена 2011 г.
13	ИТОГО	47 299 060	51 726 174	51 334 638	

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая вышеописанный производственный процесс, на основании проведенного анализа выявлены значительные преимущества полиэтиленовых колонн производства «WeberKunststofftechnik» WK-8000 PE RC-100 СНК-3000 над текущими колоннами из нержавеющей стали 10X17H13M2T СНК-3000, что позволило принять решение о замене колонн из нержавеющей стали на полиэтиленовые.

### ПРАКТИЧЕСКИЙ ВЫХОД

В настоящее время на руднике «Южный Инкай» с 2011 года в эксплуатации находится 8 колонн WK-8000 PE RC-100 СНК-3000. На производстве задействованы всего 21 колонна, из которых 13 колонн требуют замены на современные полиэтиленовые колонны.

## «АНАЛИЗ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОМПОЗИТНОГО УРАН-ГАДОЛИНИЕВОГО ТОПЛИВА»

**Алдажаров Т.М., Русин Ю.Г.**  
АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, РК

Из всех действующих сегодня технологий производства электроэнергии только атомная энергетика имеет реальный резерв топлива и минимально загрязняет окружающую среду. Только атомная энергетика готова дать ответ на обеспечение устойчивого развития стран, а также противостоять климатическим изменениям и способствовать сокращению выброса вредных газов в атмосферу.

В США, Франции, Финляндии, ряде стран Азии (Китай, Индия, Иран, Япония, Южная Корея), Центральной и Восточной Европы (Болгария, Словакия), а также Латинской Америке (Бразилия, Аргентина) или уже сооружаются новые атомные генерирующие мощности, или решения о сооружении новых атомных энергоблоков приняты, а некоторые находятся в состоянии рассмотрения.

Экспертные оценки МАГАТЭ предполагают строительство к 2020 г. до 130 новых энергоблоков общей мощностью 430 ГВт и годовой выработкой электроэнергии до 3000 млрд. кВт-ч, что может составить до 30% мирового энергодобавки.

Серьезно рассматривает развитие атомной энергетике ряд стран, не имеющих собственной атомной генерации: Италия, Польша, Белоруссия, Турция, Египет, Марокко, Казахстан, Чили, Нигерия, Бангладеш, Индонезия, Вьетнам, Таиланд, Австралия, Новая Зеландия.

С начала развития атомная энергетика сформировалась в мощный энергетический комплекс, который дает примерно 17% вырабатываемой в мире электроэнергии. Причем в некоторых странах доля электроэнергии, вырабатываемой на атомных электростанциях (АЭС), возрастает до 60-80%. Однако это развитие пока не привело к ядерной технологии, готовой в масштабах мировой энергетике конкурировать с традиционными энерготехнологиями. Но, исходя из большого практического опыта, накопленного за время развития, атомная энергетика способна выиграть в жесткой конкурентной борьбе. С этой целью ведущие ядерные державы создали долгосрочные стратегии по повышению эффективности использования ядерного топлива на АЭС при обеспечении безопасной и надежной эксплуатации.

Стремление к удешевлению электроэнергии, вырабатываемой атомными электростанциями (АЭС) с реакторами типа BWR и PWR, повышение технико-экономических показателей АЭС, диктует необходимость достижения высокой степени выгорания ядерного топлива. Это происходит за счёт улучшения конструкции ТВЭЛов, таблеток и ТВС, развития расчетных и экспериментальных исследований, а также совершенствования технологии. Существующие программы повышения глубины выгорания топлива предполагают оптимизацию схем расположения топлива в активной зоне реактора и использование более длительных циклов его облучения между перегрузками.

На ближайшие десятилетия основным топливом для АЭС останется низкообогащенный уран, представленный в виде таблеток  $UO_2$ . Запасы урана истощимы и, соответственно, первоочередной задачей является его рациональное применение с целью обеспечения роста технико-экономических показателей АЭС.

Одним из основных направлений повышения технико-экономических показателей легководных энергетических реакторов [ВВЭР (PWR) и BWR] является оптимизация их топливных циклов за счет увеличения интервалов между перегрузками  $\geq 18$  месяцев и, как следствие, обеспечение условий для увеличения глубины выгорания ядерного топлива. Такая оптимизация стала возможной за счет применения топлива с интегрированным выгорающим поглотителем (ИВП) в виде гадолиния - уран-гадолиниевого топлива (УГТ), обеспечивающего компенсацию избыточного запаса реактивности реактора.

Многолетний опыт эксплуатации LWR с выгорающим поглотителем (оксиды гадолиния и эрбия), введенным в  $UO_2$ -таблетки, подтвердил возможность существенного роста выгорания для топлива повышенного обогащения, увеличения длительности топливного цикла и снижения флюенса нейтронов на корпус реактора при оптимальных схемах размещения свежих и облученных ТВС в активной зоне. Гадолиниевый ВП нашел преимущественное применение в 1 и 1,5-годичных топливных циклах во Франции, Германии, Швеции, России; эрбиевый ВП - для длинных циклов длительностью в 18 месяцев и более, в США и России.

В то же время дальнейшие шаги по увеличению интервалов между перегрузками топлива обуславливают необходимость увеличения содержания выгорающего поглотителя нейтронов - гадолиния  $> 10,0$  вес.% в УГТ, что значительно ухудшает его термомеханические характеристики: теплопроводность и пластичность и, практически, делает невозможным его применение.

Таким образом, целью работы является выработка перспективных требований к УГТ и проведение исследований по обоснованию принятых решений, направленных на улучшение его термомеханических характеристик.

Научная новизна настоящего исследования заключается в изучении новых способов интеграции выгорающего поглотителя в ядерное топливо.

Соответственно, практической ценностью работы является возможность:

- повышения глубины выгорания топлива;
- рост эксплуатационного ресурса топлива;
- создания условий для повышения тепловой мощности энергоблоков АЭС;
- обеспечения работоспособности ядерного топлива в маневренных режимах эксплуатации.

Проведен анализ научно-технической информации по УГТ, а также имеющимся в АО «УМЗ» данным по готовой продукции – УГТ, полученного традиционным методом сухого смешения в сравнении с характеристиками топлива без выгорающего поглотителя –  $UO_2$ . Из которого видно, что основным недостатком стандартного УГТ является более низкие термомеханические свойства, обусловленные наличием в

структуре таблеток твердого раствора  $(U_{1-x}, Gd_{1-x})O_2$ . Так, например, коэффициент теплопроводности любого твердого тела можно описать формулой, где есть две составляющие коэффициента – фононная и электронная. Для  $UO_2$ , являющегося полупроводником, электронная составляющая очень мала, а при рабочих температурах топлива (1000-1200°C) ею просто пренебрегают. Соответственно фононная составляющая теплопроводности является определяющей для  $UO_2$ . В УГТ основу структуры топлива составляет твердый раствор  $(U_{1-x}, Gd_{1-x})O_2$ , в котором атомы Gd могут занимать как узлы решетки  $UO_2$ , так и ее пустоты, вследствие чего атомы Gd повышают ангармоничность колебаний атомов решетки, что способствует снижению длины свободного пробега фононов и их средней скорости, что, как видно из формулы, значительно снижает теплопроводность тв. тела. В данном случае, как это подтверждают экспериментальные данные (графики на слайде) снижает теплопроводность УГТ, увеличивает выход ГПД и приводит к растрескиванию таблеток в ходе их нагружения.

Таким образом, анализ источников научно-технической информации позволил решить первую постановочную задачу, а именно, определить и обосновать модель оптимального УГТ и его состав, представляющий собой композит: гранулы  $Gd_2O_3$  с антидиффузионным покрытием в матрице из  $UO_2$ , а также конкретизировать следующие задачи:

- отработать режимы получения Gd-содержащих гранул, исходя из необходимости обеспечения оптимальных характеристик КУГТ (относительно требований стандартных спецификаций на таблетки PWR);
- отработать режимы нанесения на Gd-содержащие гранулы защитного диффузионного слоя;
- отработать режимы подготовки пресс-порошков, прессования и спекания таблеток КУГТ;
- исследовать и дать оценку микроструктуры таблеток композитного УГТ и его теплопроводности, используя оптическую и растровую электронную микроскопию, а также прибор КИТ-02Ц для измерения теплопроводности;
- по результатам исследований подготовить рекомендации и выводы о результативности выбранных решений и разработанных режимов основных операций получения таблеток композитного УГТ, отвечающего перспективным требованиям.

В ходе выполнения экспериментальной части работы, основной целью которой являлось исследование термомеханических характеристик таблеток КУГТ, был проведен ряд поисковых работ непосредственно направленных на отработку получения как элементов КУГТ (получение сферических гранул из оксида гадолиния, нанесения на них антидиффузионного барьера), так и подготовку пресс-порошка состоящего из гранул оксида гадолиния и порошка диоксида урана, отработку режимов прессования и спекания КУГТ для достижения оптимальных характеристик таблеток, позволяющих достигать перспективные требования для КУГТ по плотности, размеру гранул и содержанию в них гадолиния.

Были определены необходимые исходные характеристики порошка  $Gd_2O_3$  в зависимости от режимов термообработок – насыпная плотность, полная удельная поверхность – основные характеристики, влияющие на спекаемость порошка и,

соответственно, на плотность гранул для достижения плотности гранул на уровне  $8,3 \text{ г/см}^3$ , что являлось далеко не тривиальной задачей, т.к. это плотность составляет 97,7% от теоретической плотности оксида гадолиния.

В результате были определены основные операции и режимы получения гранул  $Gd_2O_3$ , соответствующие поставленным требованиям. Предварительно все операции проводили на образцах – брикетах из оксида гадолиния, из которых получали гранулы сначала измельчением брикетов на сетке, а затем грануляцией получаемого материала методом окатывания.

Следующей необходимой операцией является нанесение антидиффузионного барьера на поверхность гранул из оксида гадолиния, который бы предотвращал растворение гранул в таблетках с образованием твердого раствора в процессе их эксплуатации.

За основу был принят метод химического диффузного насыщения. В качестве материала для такого барьера был выбран Mo, который хорошо освоен в промышленности, имеет малое сечение поглощения т.н., а также является тугоплавким, что необходимо, учитывая температурные условия работы топлива.

Образцы гранул  $Gd_2O_3$  помещали в закрытый контейнер, заполненный порошком  $MoO_3$ . Контейнер нагревали в печи в защитной атмосфере азота. После охлаждения гранулы извлекали из засыпки, промывали спиртом, сушили и изучали под микроскопом. Образовавшееся покрытие имело максимальную толщину 3-5 мкм.

Затем гранулы помещались в печь, и подвергались термообработкам в водороде для восстановления нанесенного слоя. Анализ морфологии покрытия под электронным микроскопом показывает, что покрытие равномерно и не имеет «дыр».

Следующим важным шагом была подготовка шихты для прессования таблеток КУГТ. Самой важной задачей в процессе изготовления КУГТ было обеспечение равномерного распределения гранул оксида гадолиния по матрице таблетки. Решением этой задачи явился процесс подготовки пресспорошка, который заключался в окатывании гранул измельченным порошком диоксида урана. В результате такой операции каждая гранула одевалась своеобразной довольно плотной «шубой» из диоксида урана. Это условие давало возможность при прессовании таблеток КУГТ дистанцировать гранулы друг от друга практически на одинаковое расстояние друг от друга и, тем самым, обеспечит их гомогенное распределение по таблетке.

В соответствии с расчетной формулой рассчитывалось количество гранул оксида гадолиния и порошка диоксида урана для приготовления шихты, что обеспечивало расчетное содержание гадолиния в таблетках (при этом объемная доля гранул по условию не должна превышать 15%). После чего таблетки прессовались использованием матрицы диаметром 12,5 мм и спекались в атмосфере водорода при температуре  $1750^\circ\text{C}$  в течение 12 часов. В таблице 1 приведены характеристики прессовок и таблеток экспериментального топлива.

Таблица 1. Характеристики прессовок и таблеток экспериментального топлива

	Плотность прессовок, г/см <sup>3</sup>		Гидростатическая плотность, г/см <sup>3</sup>		Содержание Gd, % (пересчет на Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	
	размах	среднее	размах	среднее	размах	среднее
UO <sub>2</sub> +100% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (150 мкм)	5,90 - 6,10	6,0	10,38 - 10,43	10,41	11,9-12,1	12,0
UO <sub>2</sub> +100% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (300мкм)	5,65 - 5,85	5,70	10,48 - 10,53	10,51	11,9-12,4	12,2
UO <sub>2</sub> (реперные)	5,40 - 5,60	5,52	10,79 - 10,84	10,80	-	-

Таким образом, были подготовлены два типа таблеток КУГТ. 1-й тип содержал гранулы оксида гадолиния размером ~150 мкм, а 2-й тип – гранулы размером ~300 мкм. Кроме этого в качестве реперных (для сравнения с КУГТ) были подготовлены еще 2 типа таблеток – стандартные таблетки из «чистого» порошка диоксида урана и таблетки УГТ, основу которых представлял твердый раствор оксида гадолиния в диоксиде урана.

После спекания все типы таблеток (по 5 таблеток от каждого типа) были исследованы на определение их теплопроводности и ползучести, соответственно, с применением существующих в лаборатории урана методик. Параллельно проводилось исследование микроструктуры испытываемых таблеток.

Оказалось, что расчетные методы оценки теплопроводности КУГТ, практически, подтверждаются экспериментальными данными. При этом теплопроводность таблеток, содержащих гранулы Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 150 мкм, практически, совпадает с теплопроводностью таблеток из «чистого» UO<sub>2</sub>, при этом, с ростом температуры испытания имеющаяся небольшая разница в теплопроводности в области температур 400-700°C для этих таблеток при температурах исчезает (см. рисунок 1).

Для таблеток, содержащих гранулы Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 300 мкм теплопроводность от 12 до 3% ниже, чем теплопроводность для КУГТ с размером гранул 150 мкм. Как видно из данных микроструктуры КУГТ, такое различие в теплопроводности экспериментальных таблеток двух типов КУГТ можно объяснить только размерным фактором, который обуславливает появление микротрещин в матрице в таблетках второго типа. Наличие микротрещин, нарушающих сплошность среды, может объяснить выявленное снижение теплопроводности таблеток. В то же время теплопроводность стандартного УГТ, как видно из данных, заметно ниже теплопроводности КУГТ и UO<sub>2</sub>.

Исследование пластичности таблеток при высоких температурах и статических нагрузках (ползучесть) оценивалась по скорости ползучести для тех же вариантов (типов) таблеток, что и при оценке их теплопроводности. Оценка скорости ползучести экспериментальных таблеток от обратной температуры, при которых проводили испытания, показала заметное повышение пластичности в таблетках, содержащих гранулы Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 150 мкм. Скорость ползучести для таблеток данного варианта, практически, в 2 раза превышает скорость ползучести таблеток из «чисто-

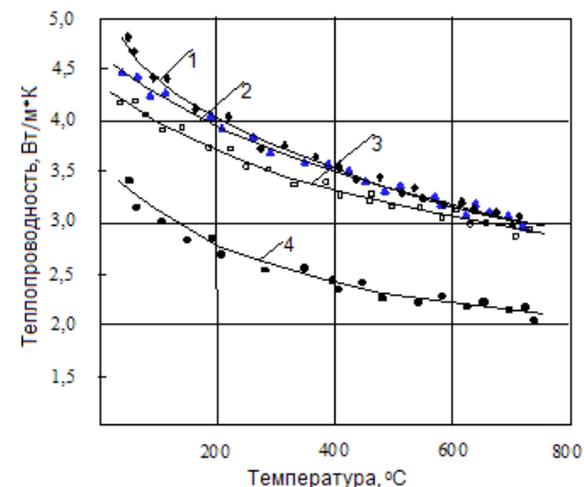


Рисунок 1. Теплопроводность таблеток УГТ при различных температурах

го» UO<sub>2</sub> (в области температур 1470÷1615°C). В то же время скорость ползучести таблеток, содержащих гранулы Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 300 мкм в этом же диапазоне температур в 2 раза ниже скорости ползучести таблеток из «чистого» UO<sub>2</sub>. При снижении температуры испытанная разница в скорости ползучести увеличивается и при температуре 1385°C скорость ползучести таблеток, содержащих гранулы Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 300 мкм, уже в 4 раза меньше скорости ползучести таблеток из «чистого» UO<sub>2</sub>. Анализ результатов ползучести, зеренной и пористой микроструктуры таблеток позволяет сделать вывод, что повышение ползучести таблеток, содержащих гранулы Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 150 мкм, по всей видимости, связана с влиянием бимодальности в распределении зерна, обуславливающей повышение пластических характеристик у таблеток данного варианта. Как уже отмечалось выше, в таблетках, содержащих гранулы Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 150 мкм, такая бимодальность связана с наличием зон, имеющих маленький размер зерна, которые формируются вокруг гранул. При этом объемная доля таких зон для данного вида таблеток выше, чем для таблеток, содержащих гранулы Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 300 мкм.

Для таблеток, содержащих гранулы Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с размером 300 мкм, снижение скорости ползучести может быть объяснено отмеченным выше размерным фактором, обуславливающим повышение модуля упругости композита за счет возникающего избыточного внутреннего напряжения в матрице UO<sub>2</sub>. Кроме этого наличие микротрещин в таблетках, содержащих гранулы оксида гадолиния с размером 300 мкм также является фактором снижающим пластичность материала.

Таким образом, и для этого случая более предпочтительным вариантом композитного УГТ являются таблетки, имеющие размер гранул 150 мкм.

Завершающим материаловедческим исследованием было тестирование таблеток композитного УГТ на термическую стабильность (доспекаемость), характеризующую стабильность таблеток при длительном воздействии высокой температуры (проведение этого теста - это требование всех разработчиков и потребителей топ-

лива). Доспекаемость проводится при температуре 1750°C в течение 24 часов. Термическую стабильность определяли по изменению плотности 10 таблеток от каждого варианта до термообработки и после термообработки. Плотность таблеток определяли гидростатическим методом без пропитки. Результаты теста на термическую стабильность представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Результаты определения термической стабильности**

Вариант	Термическая стабильность		
	размах	среднее	СКО
Таблетки с гранулами $Gd_2O_3$ , размер микросфер 150 мкм	0,04-0,10	0,07	0,013
Таблетки с гранулами $Gd_2O_3$ , размер микросфер 300 мкм	0,01-0,11	0,05	0,023
Реперный вариант (таблетки $UO_2$ )	0,07-0,12	0,10	0,015

Полученные результаты убедительно показали, что термическая стабильность таблеток всех вариантов композитного УГТ удовлетворяет требованиям, предъявляемым к топливным таблеткам по данному показателю, который для всех имеющих в мире спецификаций лежит в диапазоне  $0 \pm 0,14 \text{ г/см}^3$ .

Из всех полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментальные топливные таблетки КУГТ, содержащие гранулы  $Gd_2O_3$  со средним размером 150 мкм полностью отвечают перспективным требованиям, предъявляемым к УГТ: содержание ВП в виде  $Gd_2O_3$  в количестве 10÷12 масс.%; теплопроводность на уровне теплопроводности «чистого»  $UO_2$  в рабочем диапазоне температур ядерного топлива; улучшенные теплофизические характеристики и плотность таблеток в диапазоне требований спецификаций для таблеток, применяемых в реакторах типа PWR и BWR.
2. Выбран способ изготовления топливных таблеток КУГТ, обусловленной результатами термомеханических и теплофизических исследований топливных таблеток, отвечающих перспективным требованиям для УГТ, полученными в ходе решения поставленных в работе задач.
3. Выбранный способ отличается от штатного способа получения стандартного УГТ двумя новыми решениями, которых нет в промышленной технологии - это изготовление гранул  $Gd_2O_3$  и нанесение на гранулы  $Gd_2O_3$  диффузионного защитного покрытия из  $MoO_2$ .
4. Для оптимизации выбранного способа восстановления покрытий из  $MoO_2$  на гранулах  $Gd_2O_3$  можно проводить непосредственно в восстановительной среде водорода при спекании таблеток, что позволит оптимизировать технологический процесс изготовления таблеток.

Таким образом, выбранный способ получения топливных таблеток высокоэффективного композитного УГТ с повышенной теплопроводностью может быть рекомендован для адаптации его в производственных условиях предприятия по изготовлению таблеток для легководных энергетических реакторов (PWR, BWR, ВВЭР).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В.Смирнов, Б.А.Канашов, С.В.Кузьмин и др. Выход газовых продуктов деления из высоковыгоревшего топлива ВВЭР-440 в стационарных и переходных режимах работы. Доклад на International Seminar «Fission Gas Behaviour in Water Reactor Fuels» CADARACHE, France, 26-29 September 2000.
2. Андрианов А.Н., Баранов В.Г., Годин Ю.Г., Тихомиров Г.В. Научная сессия МИФИ, 2004, том 9, С.91.
3. Альдавахра С., Савандер В.И., Белоусов Н.И. Методика расчета и анализ применения гранулированных поглотителей в ВВЭР. Атомная энергия, 2006, т.100, вып.1. С. 8-13.
4. Поляков А.А., Стогов Ю.В., Белоусов Н.И. и др. Расчетно-экспериментальные исследования легководных решеток с композитным оксидным уран-гадолиниевым топливом. Материалы 11 семинара по проблемам физики реакторов. Москва, 4-8 сентября 2000 г. Волга-2000. Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет).
5. Поляков А.А., Стогов Ю.В., Савандер В.И., Белоусов Н.И., Проселков В.Н. Изучение физики легководных решеток с уран-гадолиниевым топливом, содержащим  $Gd_2O_3$ -гранулы // Научная сессия МИФИ-2000. Ч.8 Молекулярно-селективные и нелинейные явления и процессы. Физико-технические проблемы нетрадиционной энергетики. Физико-технические проблемы ядерной энергетики. Ультрадисперсные (нано-) материалы, С. 90-91.
6. Поляков А.А., Стогов Ю.В., Савандер В.И. и др. Обзор результатов поисковых нейтронно-физических экспериментов для обоснования использования композитного оксидного уран-гадолиниевое топлива в легководных реакторах // Научная сессия МИФИ - 2002. Сборник научных трудов. - 2002. - Т.8 123-124.
7. Yuda R., Une K. Effect of sintering atmosphere on the densification of  $UO_2 - Gd_2O_3$  compacts. J. of Nucl. Vat., 1991, V. 178, P. 195.
8. Voccaccini A.R. Glass and glass-ceramic matrix composite materials. A review. J. Ceram. Soc. Japan, 2001, V.109, №7. P. 99-109.
9. Горский В.В. Уран-гадолиниевое оксидное топливо. Ч.1 – основные свойства  $Gd_2O_3$  и  $UO_2 - Gd_2O_3$ . Атомная техника за рубежом, 1989, №2, С.3.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ИОНОВ АЗОТА НА ЯДРАХ $^{12}\text{C}$ , $^{16}\text{O}$ И $^{27}\text{Al}$ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ВБЛИЗИ КУЛОНОВСКОГО БАРЬЕРА

**Н.Буртебаев<sup>1</sup>, Ж.К. Керимкулов<sup>1</sup>, Д.К. Алимов<sup>1,2</sup>,  
Д.М. Джансейтов<sup>1,3</sup>, Е.С. Мухамеджанов<sup>1,2</sup>, Н. Амангелды<sup>1,3</sup>,  
А.К. Морзабаев<sup>3</sup>, А.С. Аймаганбетов<sup>3</sup>, Д.Б. Кадыржанов<sup>3</sup>,  
Н.М. Култазин<sup>3</sup>, Е.Н. Салимов<sup>3</sup>, А.Н.Бахтибаев<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Институт ядерной физики, г. Алматы, РК,

<sup>2</sup>КазНУ им аль-Фараби, г. Алматы, РК,

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет, г. Астана, РК,

<sup>4</sup>МКТУ им А.Ясави, г. Туркестан, РК

Изучение взаимодействия тяжелых ионов с ядрами  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{27}\text{Al}$  при энергиях вблизи кулоновского барьера представляет интерес, как с точки зрения установления достоверных значений параметров потенциала межъядерного взаимодействия тяжелых ионов, так и для изучения механизмов кластерных передач в процессах рассеяния.

Более ранние исследования процессов рассеяния ионов  $^{12}\text{C}$  и  $^{16}\text{O}$  на ядрах  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ [1] и  $^{11}\text{B}$ [2] при энергиях вблизи кулоновского барьера показали, что формирование экспериментальных сечений рассеяния обусловлено не только чисто потенциальным рассеянием, но и обменными механизмами, связанными с кластерной

структурой данных ядер. Так для системы  $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$  явно прослеживается процесс обмена альфа кластером, а для системы  $^{12}\text{C} + ^{11}\text{B}$  – протоном.

Целью настоящего исследования является определение влияния механизмов кластерных передач в формирование сечений рассеяния при взаимодействии ионов азота с ядрами  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{27}\text{Al}$ .

Эксперименты проведены на циклотроне ДЦ-60 РГП ИЯФ КАЭ МИНТ РК (рисунок 1). Энергия ускоренных ионов азота составляла 1,5 и 1,75 МэВ/нуклон. Измерения дифференциальных сечений рассеяния выполнены в диапазоне углов  $30^\circ$ - $140^\circ$  в системе центра масс. Частицы регистрировались кремниевыми детекторами с толщиной чувствительного слоя 100 мкм. В качестве мишеней использовались тонкие пленки из  $^{12}\text{C}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной 20-40 мкг/см<sup>2</sup>. Толщины мишеней определялись с погрешностью не более 5%. Энергетическое разрешение системы регистрации составляло 250-300 кэВ, которое в основном, определялось энергетическим разбросом первичного пучка. В целом абсолютная погрешность полученных данных не превышала 10%.

В полученных экспериментальных сечениях не наблюдаются ярко выраженные осцилляции и подъемы. Это вероятно связано с тем, что в исследуемых системах сечение формирует чисто потенциальное рассеяние и отсутствует вклад каких-либо обменных процессов.

Анализ сечений рассеяния ионов азота на алюминии показал, что при данной энергии они не отличаются от сечений резерфордского рассеяния. Процессы  $^{14}\text{N}+^{16}\text{O}$  и  $^{14}\text{N}+^{12}\text{C}$  проанализированы в рамках стандартной оптической модели с использованием компьютерной программы FRESKO. Найденные значения параметров потенциала взаимодействия для данных систем представлены в таблице 1. Результаты экспериментов и теоретического анализа представлены на рисунках 2-5.

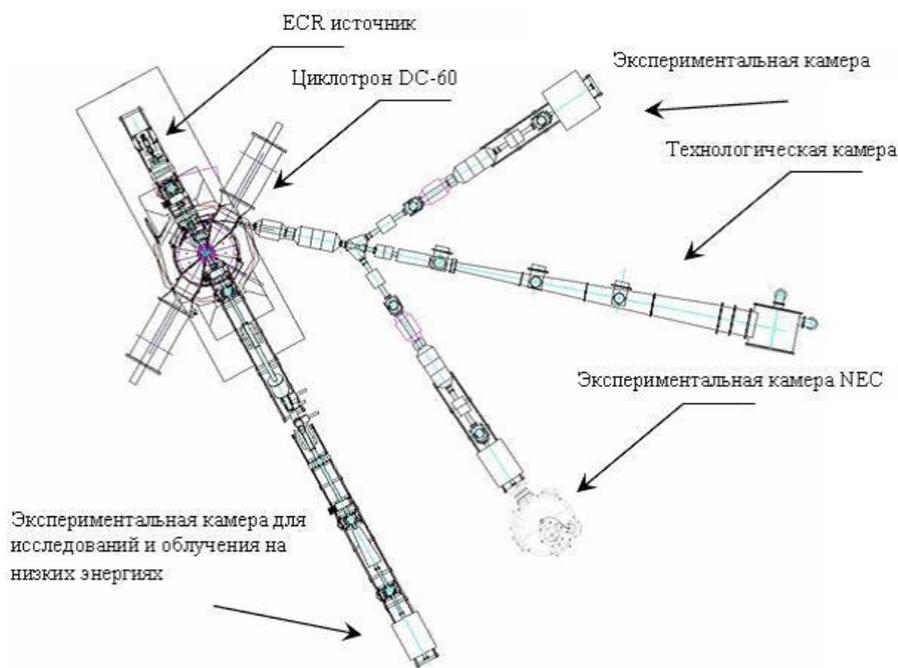


Рисунок 1. Схема циклотрона ДЦ-60 РГП ИЯФ КАЭ МИНТ РК

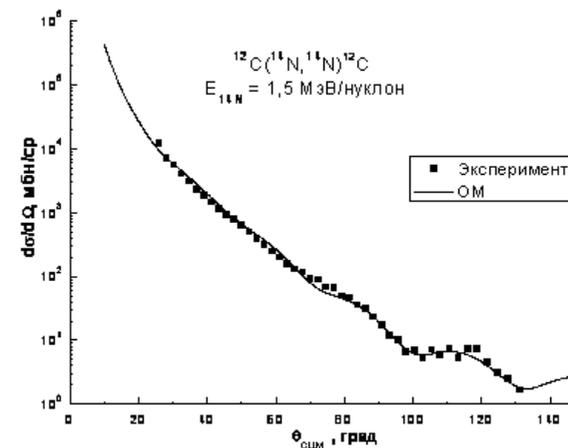


Рисунок 2. Дифференциальные сечения упругого рассеяния ионов азота на ядрах углерода ( $E_{^{14}\text{N}} = 21$  МэВ)

Таблица 1. Оптимальные параметры оптических потенциалов

Ядерная система	$E_{\text{лаб}}$ (МэВ)	$V_0$ (МэВ)	$r_v$ (Фм)	$a_v$ (Фм)	$W_0$ (МэВ)	$r_w$ (Фм)	$a_w$ (Фм)
$^{14}\text{N} + ^{12}\text{C}$	21	89.021	1.1947	0.536	6.279	1.3	0.39999
$^{14}\text{N} + ^{12}\text{C}$	24.5	75.811	1.1947	0.489	20.0	1.3	0.2155
$^{14}\text{N} + ^{16}\text{O}$	24.5	90.28	1.18	0.5	6.9	1.25	0.3777

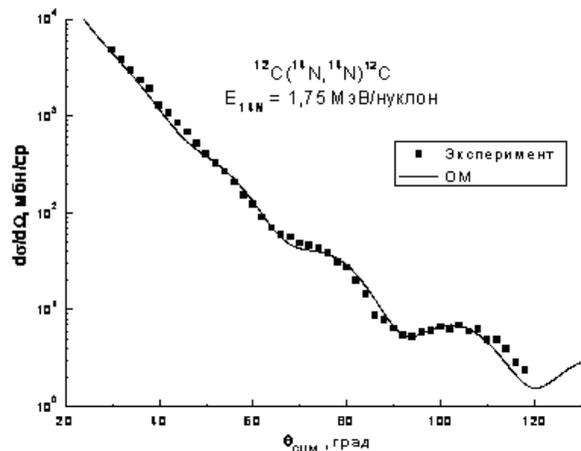


Рисунок 3. Дифференциальные сечения упругого рассеяния ионов азота на ядрах углерода ( $E_{14N} = 24.5$  МэВ)

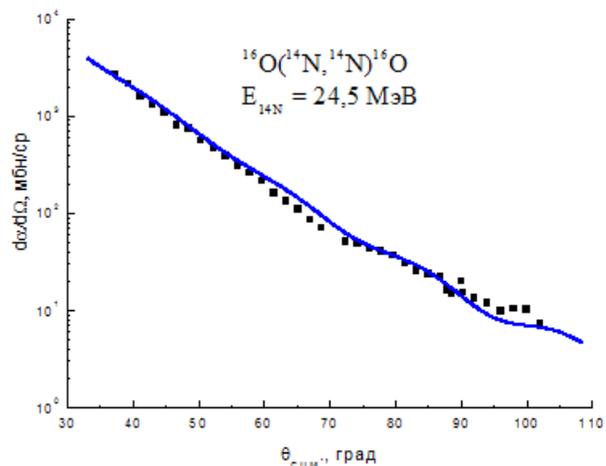


Рисунок 4. Дифференциальные сечения упругого рассеяния ионов азота на ядрах кислорода ( $E_{14N} = 24.5$  МэВ)

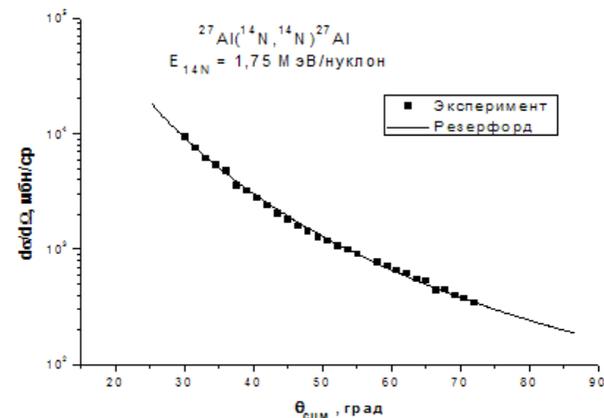


Рисунок 5. Дифференциальные сечения упругого рассеяния ионов азота на ядрах алюминия

Как следует из рисунков, экспериментальные угловые распределения адекватно воспроизводятся с теоретическими кривыми, вычисленными по оптической модели во всем измеренном угловом диапазоне, что свидетельствует о доминировании механизма потенциального рассеяния в формировании сечения упругого процесса для ядерных систем  $^{14}\text{N} + ^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N} + ^{16}\text{O}$  и  $^{14}\text{N} + ^{27}\text{Al}$ .

Полученные потенциалы можно будет использовать для модельных расчетов выходов ядерных реакций необходимых для астрофизических приложений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hamada Sh., Burtebayev N., Gridnev K.A., Amangeldi N. Analysis of alpha-cluster transfer in  $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$  and  $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$  at energies near Coulomb barrier // Nuclear Physics A859. – 2011. – P. 29-38.
2. Hamada Sh., Burtebayev N., Amar A., Amangielgy N. Analysis of elastic scattering of  $^{12}\text{C}$  on  $^{11}\text{B}$  at energy near Coulomb barrier using different optical codes // World Academy of Science, Engineering and Technology. - 2010, - issue 69, - P. 589-591.

## ОЦЕНКА ВКЛАДА ПОЛИГОНА «АЗГИР» В ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПОЛИГОНУ

В.А. Артемова, М.А. Севериненко, О.С. Мильц, И.М. Николаев  
Институт ядерной физики, г. Алматы, РК

### ВВЕДЕНИЕ

Проблемы преодоления различных последствий осуществленных в Казахстане ядерных взрывов до сих пор остаются актуальными. Из 39 мирных подземных ядерных взрывов, проведенных в Казахстане, 17 были выполнены на Азгирском полигоне, расположенном на соляно-купольном поднятии «Большой Азгир» вблизи пос. Азгир Курмангазинского района Атырауской области (рисунок 1). Начиная с 1964 г. на полигоне были развернуты работы по созданию подземных полостей с помощью камуфлетных ядерных взрывов в массивах каменной соли, с целью их дальнейшего использования в качестве хранилищ большого объема многоцелевого назначения.

В настоящее время на объекте имеются 10 технологических площадок, 8 из которых находятся на расстоянии 17-20 км северо-восточнее пос. Азгир, площадка А1 - на расстоянии 1,5 км к востоку, а площадка А2 - в 8 км к северу (рисунок 1).



а) расположение полигона «Азгир»

б) схема расположения боевых скважин и участков запрета

Рисунок 1. Полигон «Азгир»

### МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью работ является оценка вклада полигона «Азгир» в формирование радиологической обстановки населенных пунктов, прилегающих к полигону. Работы проводились в несколько этапов: полевые исследования, лабораторный анализ проб и общая оценка всей совокупности полученных результатов. В общем виде, схема исследования представлена на рисунке 2:

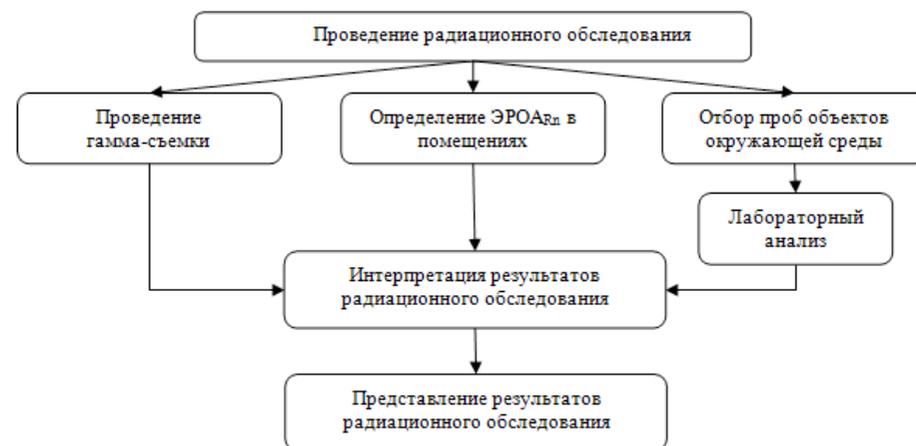


Рисунок 2. Схема проведения исследования

Мониторинг радионуклидного состава объектов окружающей среды выполнен путем отбора и лабораторных исследований проб на постах мониторинга, расположенных на территории полигона и в населенных пунктах. Исследования выполнены в весенний и осенний этап 2014 года.

### РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ

Результаты определения удельной активности естественных радионуклидов в почвах представлены в таблице 1, из которой следует, что почвы исследуемых территорий характеризуются постоянством состава, а значения удельных активностей характерны для почв исследуемого региона.

Таблица 1. Средняя удельная активность естественных радионуклидов в почвах

Радионуклид	Азгир		Балкудук		Технологические площадки	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень
U-238	11,8	12,0	13,7	14,0	19,1	17,0
Ra-226	14,7	17,1	16,0	14,0	21,4	24,2
Th-232	13,9	14,4	18,4	17,7	25,9	26,4
K-40	390	391	480	434	530	566

Исследования содержания техногенных радионуклидов в пробах почв свидетельствуют о том, что удельные активности радионуклидов в населенных пунктах не превышают уровня глобальных выпадений: 0,41 Бк/кг для Pu-239+240, менее предела обнаружения для Sr-90, средние значения для Cs-137 составляют 5,0 Бк/кг (п. Азгир) и 3,7 Бк/кг (п. Балкудук). На технологических площадках полиго-

на удельные активности техногенных радионуклидов в не превышают 0,54 Бк/кг для Pu-239+240, менее 37,6 Бк/кг для Sr-90, средние значения для Cs-137 составляют 44,5 Бк/кг.

Согласно полученным данным средние значения удельных активностей искусственных радионуклидов соответствуют уровням глобальных выпадений для данного региона, что позволяет констатировать об отсутствии влияния полигона Азгир на уровень загрязненности почв исследованных населенных пунктов.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОБАХ ВОДЫ**

Из результатов исследования следует, что удельные активности естественных и техногенных радионуклидов в пробах подземных и поверхностных вод ниже уровней вмешательства и ниже предела обнаружения использованных методик. Исключение составляют пробы, отобранные в техногенном озере на площадке А9, в которых средняя удельная активность Sr-90 достигает 61,2 мБк/л, что также ниже уровня вмешательства в питьевой воде в соответствии СЭТОРБ. Следовательно, на исследованной площади влияние бывшего полигона «Азгир» на качество подземных вод первого водоносного горизонта до глубины 20 метров в настоящее время отсутствует.

С целью исследования влияния природных естественных радионуклидов на качество воды выполнено определение общей альфа-и бета-активности в пробах подземных вод по существующей сети мониторинга. Результаты показывают, что в отдельных скважинах и колодцах значения общей альфа-активности достигают уровня вмешательства с учетом погрешности измерений. В ряде случаев по причине высокой солености вод не удалось получить численные значения общей альфа-и бета-активности. Однако данные пункты не являются объектами водопользования. Для получения окончательных выводов необходимо проведение дальнейших исследований с целью получения статистически достоверных данных.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА, ОБЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРИД И СУЛЬФАТ ИОНОВ ПРОБАХ ВОДЫ**

Исследования выполнены с целью оценки качества вод по общехимическим показателям.

Исследование солевого состава и общей минерализации (сухого остатка) вод выполнено путем оценки концентраций хлорид-иона  $Cl^-$  и сульфат-иона  $SO_4^{2-}$  в отобранных пробах. Результаты исследованию показали, что распределение концентраций определяемых анионов в пробах воды имеет неоднородный характер. Концентрации аниона  $SO_4^{2-}$  изменяются практически от нуля в скважинах С-2 и С-2004 до 5 037 мг/л в озере А9. Концентрации аниона  $Cl^-$  изменяются в диапазоне от 28,7 мг/л в скважине в колодце Азгир-4 до 110 774 мг/л в скважине С-2001. Минерализация изменяется от 260 мг/л в С-2004 до 180 200 мг/л в скважине С-2001.

Значения общей минерализации и концентрации определяемых анионов в ряде скважин существенно превышают ПДК для питьевой воды. Концентрации аниона  $SO_4^{2-}$  превышают ПДК более чем в 10 раз, а концентрации аниона  $Cl^-$  более чем в 360 раз. Неоднородность солевого состава указывает на отсутствие единого водоносного горизонта на глубинах до 20 метров. Данный факт позволяет населению на основании долготелетнего опыта использовать отдельные линзы подземных вод с меньшими характеристиками по солености. Однако, как показано ниже, при этом не обеспечивается качество воды по содержанию микроэлементов.

Исследование микроэлементного состава подземных вод выполнено путем оценки концентраций 19 элементов (Al, Cr, Zn, As, Sr, Cd, Ba, Hg, Pb, U, Li, Fe, V, Ni, Cu, Be, Co, Mn, Se) методом масс-спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой в пробах воды из режимных скважин, колодцев и озера А9).

Так, исследованиями показано отсутствие в водах мышьяка, кадмия, ртути, свинца, бериллия и селена. Концентрации алюминия, хрома, цинка, никеля, кобальта, меди в пробах подземных вод не превышают ПДК для питьевой воды. При этом концентрации алюминия в весенний этап в колодце Азгир 4 составили 183 мкг/л, хрома в осенний этап 19,6 мкг/л в скважине С-1064, а концентрации никеля - 51,4 мкг/л в скважине С-1081. Распространенность микроэлементов в исследованных объектах неравномерная. Если концентрации никеля и хрома имеют незначительную дифференциацию по отношению к виду объекта (скважина или колодец) и различаются в 3-5 раз, то в скважинах более высокие концентрации меди, а в колодцах более существенно содержание цинка.

Остальные элементы крайне неравномерны, в отдельных объектах практически не обнаружены, однако регистрируются в разные периоды года. Например, хром обнаруживается в весенний период и практически отсутствует в периоды летнего и осеннего этапов. Как следует из гистограмм микроэлементный состав подземных вод в исследованных скважинах и колодцах на всех этапах мониторинга, не претерпел существенных изменений, а зафиксированные различия обусловлены сезонным фактором.

Значительно превышают ПДК для питьевой воды концентрации бария, стронция, марганца, лития. Концентрации изменяются в диапазонах: барий от 5,74 мкг/л (в скважине С-2006) до 617 мкг/л (в колодце Булак), стронций - от 194 мкг/л в колодце Азгир-4 до 66 223 мкг/л в скважине С-1081, марганец - от 2,73 мкг/л в скважине С-1064 до 2817 мкг/л в колодце Азгир-4, литий - от 5,59 мкг/л в колодце Азгир-4 до 21 828 мкг/л в озере А9. При этом наибольшее количество бария отмечается именно в колодцах. В течение наблюдаемого периода изменения в концентрациях исследуемых элементов значительны, Повышенные концентрации бария, стронция и лития обусловлены характером почв и климатическими условиями региона. В пробах воды из всех колодцев и в скважине С-2005 зафиксировано присутствие урана до 0,5 Бк/л при уровне вмешательства равном 3,0 Бк/л). Зарегистрированное соотношение U-235/U-238 в исследованных пробах находится в интервале  $0,00720 \pm 0,00728$ , что соответствует природному урану, имеющему соотношение, равное 0,00725.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОБАХ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

По результатам исследования радионуклидного состава проб растительности, отобранных в населенных пунктах, сделан вывод о том, что присутствие техногенных радионуклидов незначительно и находится на уровне предела обнаружения применяемых методик. В пробах, отобранных на технологических площадках А2, А5, А10 полигона по сравнению с пробами растительности, отобранными в населенных пунктах, отмечаются повышенные концентрации техногенных радионуклидов цезия-137, стронция-90, которые не превышают нормативных величин для продуктов питания. В осенний период мониторинга отмечено повышение концентрации плутония 239+240 и стронция-90 по сравнению с данными весеннего мониторинга, что обусловлено накоплением радионуклидов в растениях в период вегетации.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно полученным данным средние значения удельных активностей искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды соответствуют уровням глобальных выпадений для данного региона, что позволяет констатировать об отсутствии влияния полигона Азгир на уровень загрязненности почв исследованных населенных пунктов. Не обнаружено наличия техногенных радионуклидов во всех пробах вод водоносных горизонтов на глубинах до 20 м.

По результатам исследований качества вод по общехимическим показателям отмечено присутствие в водах ряда тяжелых металлов и токсичных элементов. Следует обратить особое внимание на присутствие практически во всех пробах воды лития. Это исключает использование вод для водоснабжения в питьевых целях. Отмечено присутствие в водах колодцев природного урана в концентрациях, не превышающих уровень вмешательства для вод, используемых в питьевых целях.

Подтверждена сильная дифференциация подземных вод по степени минерализации и элементного состава, что позволяет сделать вывод о пространственной разобщенности подземных вод, и подтвердить данные об их залегании в виде локальных изолированных линз на глубинах до 20 метров. Данный фактор существенно снижает потенциальную возможность миграции радионуклидов на дальние расстояния, и позволяет сделать благоприятный прогноз об исключении вероятности общего радиоактивного загрязнения подземных вод на территории полигона.

Присутствие техногенных радионуклидов в растительности незначительно и находится на уровне предела обнаружения применяемых методик.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗИФИКАЦИИ РЕАКТОРНЫХ ГРАФИТОВ

*С.К. Аскербекоев, Е.В. Чихрай, В.П. Шестаков, Т.В. Кульсартов,  
А.О. Муканова, И.Е. Кенжина*

НИИЭТФ КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, РК

### ВВЕДЕНИЕ

Как известно рабочие температуры, при которых функционируют конструкционные, поглощающие и тепловыделяющие элементы из графита в активной зоне, колеблются от 300 до 1250°C в зависимости от типа реактора [1-3]. В высокотемпературной части этой области происходят реакции окисления графита при взаимодействии с такими примесями в теплоносителе, как  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ , что приводит к деградации его прочностных свойств и снижению теплопроводности. Известно [1], что потеря 3 мас. % образца графита, происшедшая при взаимодействии с примесями в гелии парами воды при 1000°C, приводит к 30-50% изменению модуля упругости, удельного электросопротивления, коэффициента термического расширения.

Поэтому исследование и испытание реакторных графитов, в особенности исследование их взаимодействия с химическими активными газами, остается одной из актуальных и приоритетных задач прикладного материаловедения.

В настоящей работе приведен первый этап таких работ а именно результаты экспериментов по исследованию высокотемпературного взаимодействия различных газов в камере с образцами графита марок РГТ и IG-110.

### ИССЛЕДУЕМЫЙ МАТЕРИАЛ

В качестве объектов исследования были выбраны:

- Образцы рекристаллизованного графита марки РГТ. (Плотность 2,15 г/см<sup>3</sup>, пористость < 5 %; размер зерна около 10 мкм; содержание титана ~ 10% ).
- Образцы японских марок реакторного графита мелкозернистого IG-110. (Плотность 1,78 г/см<sup>3</sup>, масса образца ~ 1 г, прочность на изгиб 39 МПа, твердость по Шору 51).
- Образцы имели форму параллелепипеда размерами 3,3x3,3x55 мм. (см рисунок 1). Длинная сторона образцов ориентирована перпендикулярно оси сжатия.



Рисунок 1. Вид исследуемых образцов

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Эксперимент проводился на установке по исследованию высокотемпературной коррозии реакторных материалов (CorrSiCa), схема приведена на рисунке 2. Данная экспериментальная установка предназначена для исследования процессов взаимодействия различных материалов с водяными парами и химически активными газами при температурах 100-1600°C и давлениях  $10^{-4}$ - $10^5$  Па в испытательной камере. Установка позволяет организовывать подобные испытания в условиях продувки газа сквозь камеру с образцом со скоростью 1-100 л/ч. Кроме этого во время экспериментов установка позволяет проводить масс-спектрометрический анализ состава газов в коррозионной камере, с помощью прецизионного механического натекателя и масс-спектрометра RGA-100. Нагрев образцов осуществляется печкой GSL-1600 и позволяет реализовывать программируемые температурные режимы испытаний, и обеспечивает точность поддержания задаваемой температуры на уровне  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  (диапазон температур 100-1100°C) и  $\pm 1^\circ\text{C}$  (диапазон температур 1100-1600°C).

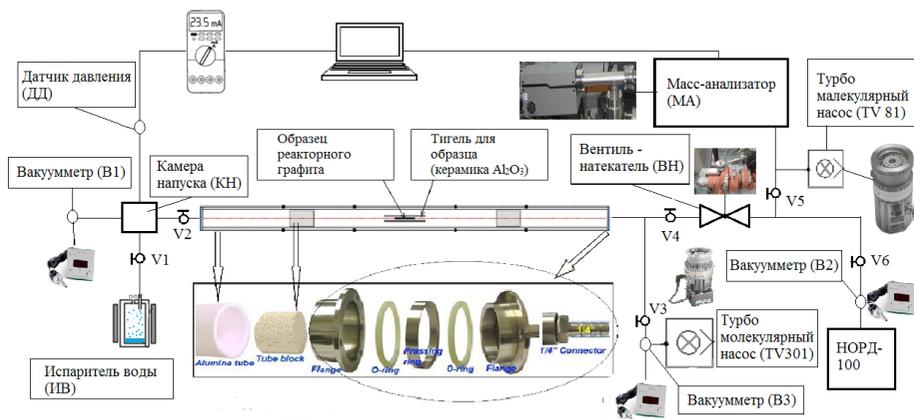


Рисунок 2. Структурная схема установки для исследования коррозии графита

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перед экспериментами образец предварительно мыли в ультразвуковой ванне в дистиллированной воде и отжигали при температуре 500°C в течении 5 часов. Затем образец взвешивался на аналитических весах (Sartorius CPA225D, точность 10 мкг) и проводились их микроструктурные исследования. Далее образец закладывался в печь (коррозионную камеру), после чего система была откачана до давления 0,01 торр. После откачки камеры, с помощью механического натекателя организовалось натекание газовой смеси из камеры с образцом в камеру с масс-спектрометром.

В настоящей работе приведены данные по двум экспериментам:

1) Первый эксперимент состоял в следующем: с целью изучения коррозии гра-

фита марки РГТ в камеру с образцом организуется натекание атмосферных газов (азота и кислорода) и паров воды на уровне 1 торр/час. Далее образец линейно нагревается до температуры около 1100°C, после чего выдерживался на этой температуре в течении 1800 с. Затем медленно охлаждался.

2) Второй эксперимент проводится в условиях линейного нагрева образца графита марки IG-110 до температуры около 1400°C, исследовались заранее выбранные температуры, в процессе подачи воды в коррозионную камеру и установления равновесного баланса по газам в камере температура образца не изменяется. После снятия зависимости кинетики изменения состава газа в камере при подачи на образец паров воды при максимальной температуры образца 1400°C, газовая смесь откачивается из камеры и проводится спуск к следующей исследуемой температуре образца (в качестве исследуемых температур были выбраны: 1400°C, 1300°C, 1200°C, 1100°C, 1000°C, 900°C, 7500°C).

За все время экспериментов регистрировалось изменение состава газа в камере. После коррозионных экспериментов образцы снова взвешивались и проводились их микроструктурные исследования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ИХ ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ГРАФИТА МАРКИ РГТ

Как показали эксперименты, нагрев образца в присутствии кислорода и паров воды привел к заметному почернению поверхности и образованию аморфного углеродного слоя (см. рисунок 3). Заметного изменения массы образца за время испытаний не наблюдалось  $\Delta m \leq 10$  мкг.



Рисунок 3. Образцы графита РГТ (верхний – до испытаний; нижний – после испытаний)

Общий вид полученных зависимостей изменения давления для различных газов приведен на рисунке 4.

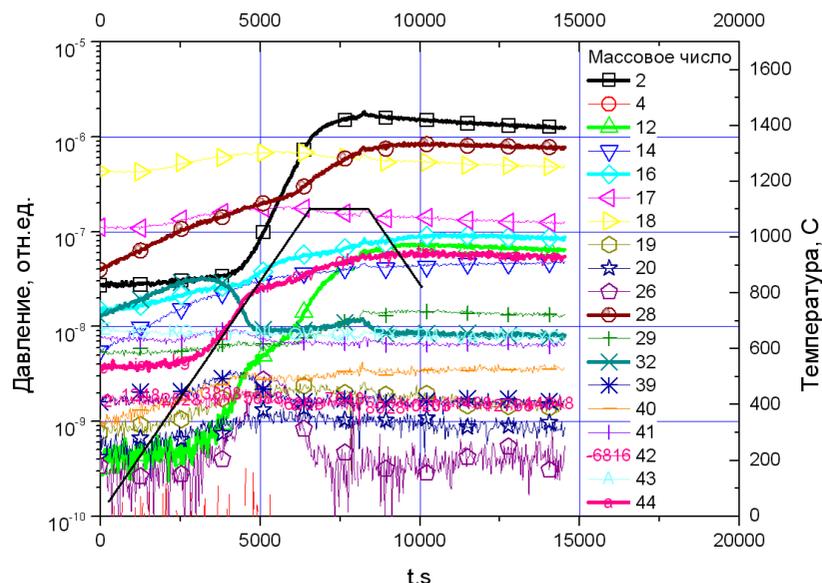


Рисунок 4. Зависимость изменения давления различных газов в камере при нагреве образца графита РГТ в присутствии кислорода и паров воды

Как видно из графика наиболее заметные изменения давлений наблюдаются для газов с массовыми числами 2 ( $H_2$ ), 12 (C), 16 ( $CH_4$ ), 28 ( $N_2$ , CO), 32 ( $O_2$ ), 44 ( $CO_2$ ).

Настоящие изменения давлений данных газов в основном вызваны реакциями графита с кислородом и парами воды (которые являются продуктами коррозии графита). Рассмотрим эти взаимодействия подробнее:

### РЕАКЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРАФИТА С КИСЛОРОДОМ

Газификация реакторного графита происходит посредством ряда последовательных процессов [4,5,6]: (а) Диффузия кислорода на поверхности и/или в открытые объемные поры; (б) Адсорбция атомов кислорода в активные центры поверхности и одновременное образование С-О связей и разрушение связей С-С; и (с) десорбция газообразных продуктов CO и  $CO_2$  и перенос в объем газа. Прямым путем образования CO является десорбция стабильных комплексов, вероятнее всего, эфирных и карбонильных групп. Благодаря стабильности этих комплексов, образование CO не обнаруживается при низких температурах (<400°C), но скорость его образования повышается экспоненциально с увеличением температуры [5]. С другой стороны, основным путем параллельной генерации газа  $CO_2$  является присоединение атома кислорода до насыщенного атома углерода, прилегающего к краю атома углерода, уже связанного с атомом кислорода [7,8].

Так как полная скорость газификации наряду со скоростями образования газов CO и  $CO_2$  является определяющей характеристикой вида графита, они могут быть использованы для определения значений удельной энергии активации и кинетичес-

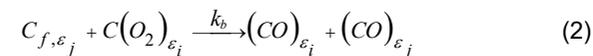
ких параметров для элементарных химических реакций при газификации. Во время газификации графита, эффективные поверхностно-активные центры зависят только от потери массы. Однако, промежуток времени необходимый для достижения удельной потери массы зависит от температуры и, следовательно, от режима окисления (Рис. 5), от парциального давления кислорода и типа графита [8,9].

Несмотря на сложность окисления графита ниже приведенные 4 реакции адсорбции и десорбции достаточны для этой химической кинетической модели [5,6,10-14].

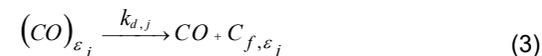
(а) Адсорбция молекул кислорода для формирования недиссоциированного поверхностного комплекса  $C(O_2)$ :



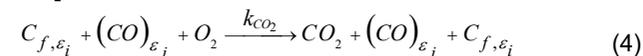
(б) Разрыв недиссоциированного кислородного радикала  $C(O_2)$  для формирования стабильного комплекса (CO):



(с) Десорбция стабильного поверхностного комплекса (CO) с образованием газа CO:



(д) Десорбция газа  $CO_2$



Как видно из графика на рисунке 4 до температур около 500°C кислород практически не поглощается, наблюдаемый линейный рост давления кислорода обусловлен натеканием в камеру атмосферных газов. После 500°C начинается реакция окисления которая приводит к снижению давления кислорода в камере более чем на порядок. После 800°C в камере остается фоновое равновесное давление кислорода. Результатом взаимодействия графита с кислородом является рост давления углекислого газа в камере установки практически синхронно с падением давления кислорода.

В предположении, что указанная реакция окисления определяется взаимодействием кислорода с графитом на поверхности (не учитывая диффузионные механизмы попадания кислорода в матрицу графита) можно записать простое рекуррентное уравнение баланса для изменения давления кислорода в системе. Для этого разобьем временной промежуток проведения эксперимента на  $I$  интервалов каждый длительностью  $\Delta t$  (с). Тогда мы можем записать:

$$v(O_2)_{i+1} = v(O_2)_i - K_i \times P(O_2)_i \times S \times \Delta t + \varphi(O_2) \times \Delta t$$

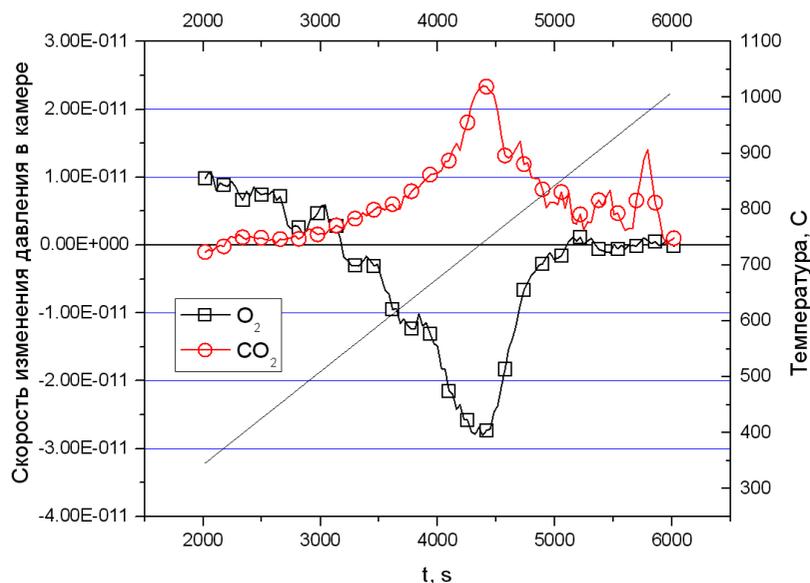


Рисунок 5. Временная зависимость скорости изменения давления кислорода и углекислого газа в камере с образцом графита

Где  $v(O_2)_{i+1}$ ,  $v(O_2)_i$  - количество молей кислорода в камере с образцом в момент времени  $t_i$ ,  $t_{i+1}$  соответственно;  
 $K_i$  - константа скорости взаимодействия кислорода с графитом (моль/(м<sup>2</sup>\*с\*Па)).

Данная константа имеет Аррениусовскую зависимость и может быть представлена как:

$$K O_i = K O_0 \times \exp \left( -\frac{E O}{R \times T_{sample}} \right)$$

где  $K(O_2)_0$  – пред экспонента Аррениусовской зависимости (моль/(м<sup>2</sup>\*с\*Па);  
 $Ea(O_2)$  – энергия активации реакции кислорода с графитом (Дж/моль);  
 $R$  – универсальная газовая постоянная;  
 $T_{sample}$  - температура образца в момент времени  $t_i$ ;  
 $P(O_2)_i$  - давление кислорода в момент времени  $t_i$  (Па).

Давление кислорода может быть представлено в виде:

$$P(O_2) = \frac{m_{O_2}}{V_{cam}} \times \frac{R \times T_{gasi}}{M_{O_2}}$$

где  $T_{gasi}$  – средняя температура газа в момент времени  $t_i$  (температура газа определяется средней температурой стенок камеры, которая, как показали оценочные расчеты, может быть выражена через температуру образца графита по формуле  $T_{gasi} = T_{sample}/2$ );  
 $V_{cam}$  – объем камеры с образцом (м<sup>3</sup>);  
 $S$  – площадь поверхности образца (м<sup>2</sup>);  
 $\phi(O_2)$  – уровень натекания кислорода в камеру (~7\*10<sup>-3</sup> моль/с).

Результаты проведенного моделирования при разбиении времени эксперимента на интервалы  $\Delta t = 30$ с позволили получить неплохое совпадение расчетных кривых с экспериментальными (см. рисунки 6,7) и рассчитать Аррениусовскую зависимость константы скорости взаимодействия кислорода с графитом:

$$K = 5,2 \times \exp(-125000 / (R \times T)) \quad (\text{моль}/(\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Па})).$$

Данное выражение удовлетворительно совпало с результатами, полученными для константы взаимодействия кислорода с реакторными графитами различных марок, приведенными в работе [15].

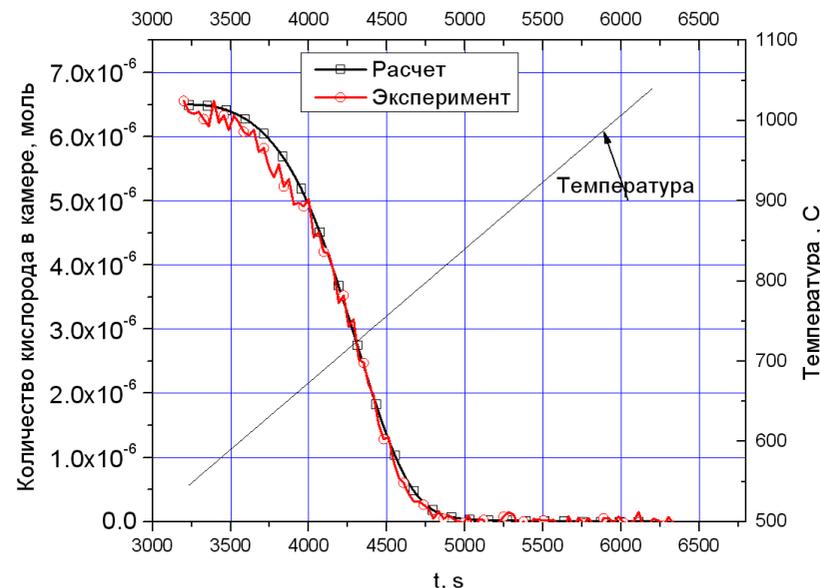
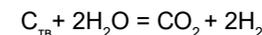
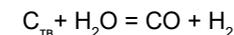


Рисунок 6. Результаты моделирования изменения количества кислорода в камере с образцом графита

Реакции взаимодействия графита с парами воды:  
 Основными реакциями графита с водой являются:



Как отмечено в [17] при температурах, превышающих 700°С, водяной пар начинает активно реагировать с элементарным углеродом, по 1 каналу реакции.

Как видно из графика на рисунке 4, в проведенных экспериментах наблюдается очень заметное увеличение давления водорода (начиная с температуры около 800°С) и угарного газа CO (с некоторым запозданием по времени), при этом уро-

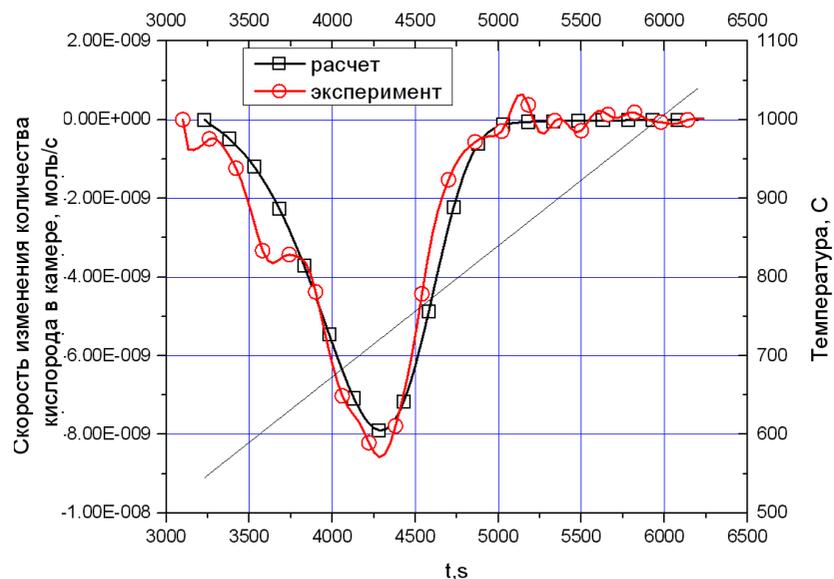


Рисунок 7. Результаты моделирования скорости изменения количества кислорода в камере с образцом графита

вень давления углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) на 2 порядка меньше чем угарного газа ( $\text{CO}$ ). Это свидетельствует о незначительном вкладе в общий баланс газов реакции окисления графита по 2 каналу реакции. Давления водорода и угарного газа в экспериментах достигают стационарного значения, что свидетельствует о прекращении реакции графита с водяными парами, за счет снижения давления паров воды в камере с образцом.

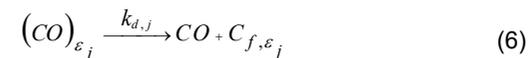
Здесь важно отметить тот факт, что наблюдаемые изменения давления воды носят сложный характер, из-за наличия не прогреваемого тракта установки, непосредственно перед натекателем в измерительную систему. Это приводит к существенным искажениям измерения реального давления паров воды в камере с графитом. Для дальнейших корректных оценок скорости реакции взаимодействия паров воды с графитом в основном анализировалось изменения давления продуктов реакции водяных паров с графитом.

Химическая кинетическая модель взаимодействия углерода с парами воды может быть представлена в следующих предположениях.

(а) Адсорбция молекул воды на поверхности графита с образованием стабильного комплекса ( $\text{CO}$ ) и выделением газа  $\text{H}_2$ :



(б) Десорбция стабильного поверхностного комплекса ( $\text{CO}$ ) с образованием газа  $\text{CO}$  (данный процесс аналогичен реакции (2)):



Десорбция газа  $\text{CO}_2$  (соответствующая реакции (4)) – незначительна так как при температурах выше  $800^\circ\text{C}$  уровень давления кислорода в камере фоновый (на графике изменения давления газов в камере видно что основная часть кислорода в камере прореагировала с графитом ранее).

В предположении, что реакция взаимодействия паров воды с графитом происходит только на поверхности можно записать рекуррентное уравнение баланса для изменения количества продуктов реакции в системе. Как и в случае, описание взаимодействия кислорода с графитом разобьем временной промежуток проведения эксперимента на  $l$  интервалов каждый длительностью  $\Delta t$  (с). Примем, что на начало реакции давление паров воды (количество вещества) составляло некое давление  $P_0$  – которое можно оценить, приравняв его к стационарному давлению водорода в системе на момент окончания реакции.

Тогда мы можем записать:

$$v(\text{H}_2)_{i+1} = v(\text{H}_2)_i - K(\text{H}_2\text{O})_i \times P(\text{H}_2\text{O})_i \times S \times \Delta t$$

Где  $v(\text{H}_2)_{i+1}$ ,  $v(\text{H}_2)_i$  – количество молей водорода в камере с образцом в момент времени  $t_i$ ,  $t_{i+1}$  соответственно;

$K(\text{H}_2\text{O})_i$  – константа скорости взаимодействия водяных паров с графитом (моль/( $\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}$ )).

Данная константа имеет Аррениусовскую зависимость и может быть представлена как:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = K_{\text{H}_2\text{O}_0} \times \exp\left(-\frac{E_{\text{H}_2\text{O}_a}}{R \times T_{\text{sample}}}\right)$$

где  $K_{\text{H}_2\text{O}_0}$  – пред экспонента Аррениусовской зависимости (моль/( $\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}$ );

$E_{\text{H}_2\text{O}_a}$  – энергия активации реакции водяных паров с графитом (Дж/моль);

$P(\text{H}_2\text{O})_i$  – давление водяных паров в момент времени  $t_i$  (Па).

Давление водяных паров может быть представлено в виде:

$\times \times$

Результаты проведенного моделирования при разбиении времени эксперимента на интервалы с позволили получить неплохое совпадение расчетных кривых с экспериментальными (см. рисунки 8,9) и рассчитать Аррениусовскую зависимость константы скорости взаимодействия водяных паров с графитом:

$$K = 0.057 \times \exp(-135000 / (R \times T)) \text{ моль}/(\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Па})$$

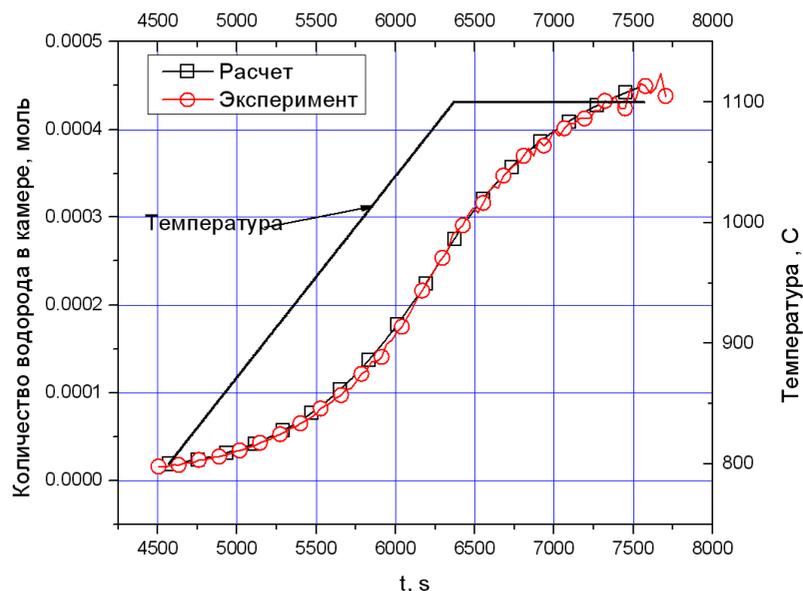


Рисунок 8. Результаты моделирования изменения количества водорода в камере с образцом графита

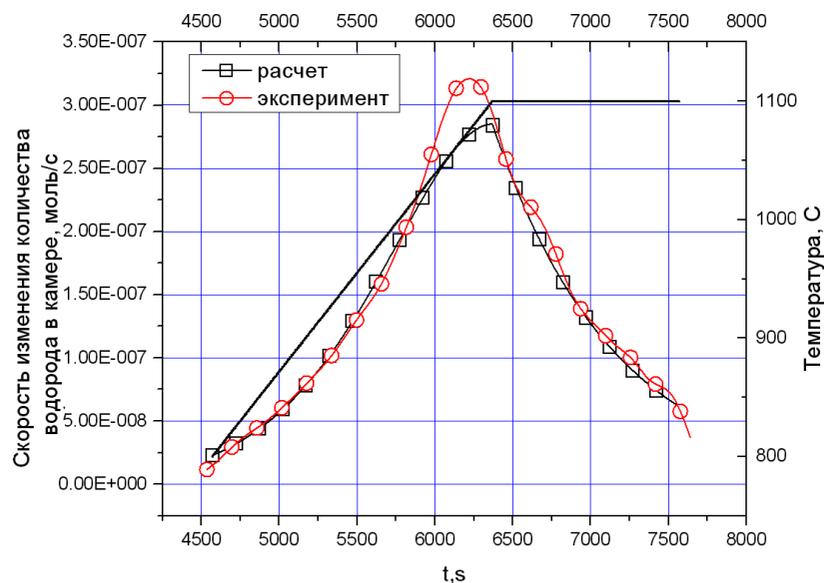


Рисунок 9. Результаты моделирования скорости изменения количества водорода в камере с образцом графита

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ГРАФИТА МАРКИ IG-110

По результатам проведенных исследований были получены комплексные временные, температурные диаграммы экспериментов по коррозии. На рисунке 10 приведены характерные зависимости изменения давления различных газов в камере с образцов графита при напусках паров воды.

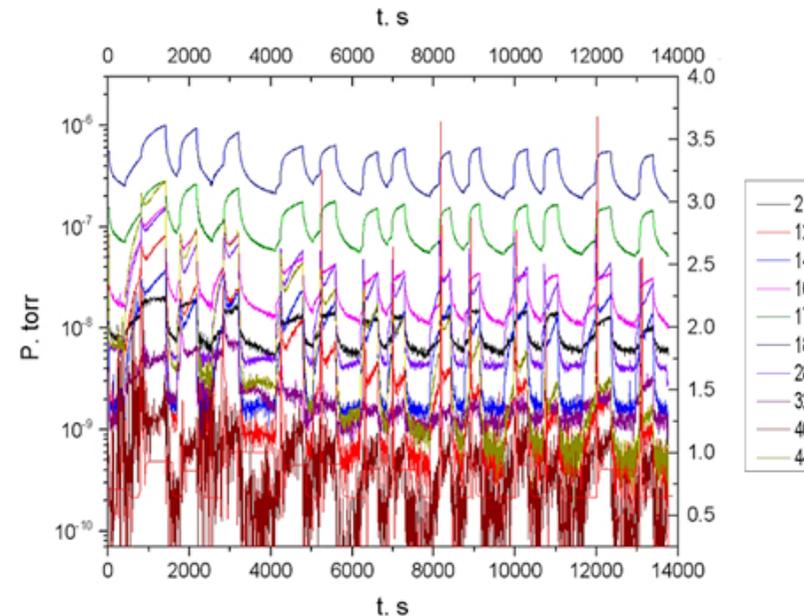


Рисунок 10. Зависимости изменения давления различных газов в камере с образцом графита IG-110

На рисунке 11 приведены кинетики изменения состава газа в камере при коррозии графита для различных температур образца. Из графиков качественно видно, что коррозия графита протекает при разных температурах различным образом: отличаются как квазистационарные равновесные уровни давлений для различных газов, так и кинетика изменения состава газа в камере.

Полученные зависимости могут быть объяснены сложными процессами сорбции - десорбции и химическими реакциями, имеющими температурную зависимость.

Перечислим некоторые из них ниже:

#### РЕАКЦИИ ГАЗ – ГРАФИТ

Сорбция молекул воды с формированием стабильных комплексов (CO) и сорбированных на поверхности графита атомов водорода:



(7)

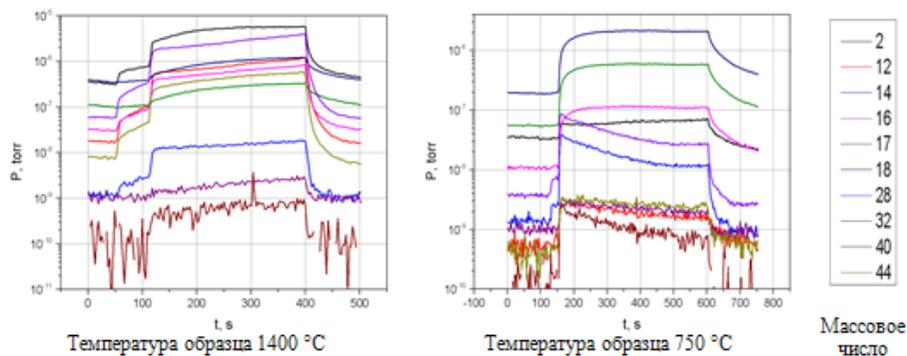


Рисунок 11. Зависимости изменения состава газа в камере с образцом графита при подачи в камеру паров воды

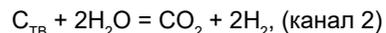
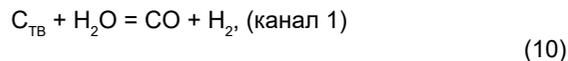
Образование молекулы метана:



Сорбция молекул водорода:



Реакция взаимодействия графита с парами воды:



### РЕАКЦИИ ДЕСОРБЦИИ С ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА

Десорбция водорода:



Десорбция CO:



### РЕАКЦИИ ГАЗ – ПОВЕРХНОСТЬ СОС

Реакция с молекулой воды:

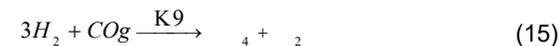


Реакция с молекулой водорода:



### РЕАКЦИИ В КОРРОЗИОННОЙ КАМЕРЕ

Реакция водорода с CO (образование метана):



Реакция молекулы воды с CO:



Распад метана:



Примем следующие обозначения для концентраций элементов в коррозионной камере:

$N_{H_2O}, N_{H_2}, N_{COg}, N_{CO_2}, N_{CH_4}$  – концентрации соответственно воды, водорода, газа CO, углекислого газа, метана в камере установки (моль/м<sup>3</sup>);

$N_c, N_{COs}, N_H$  – концентрации соответственно поверхностно активных центров, комплексов CO и атомов водорода на поверхности образца (моль/м<sup>2</sup>);

$N_{CO}$  – начальная концентрация поверхностно активных центров, такая что всегда верно  $N_{CO} = N_c + N_{COs} + N_H$ .

K1-K11 – константы соответствующих реакций (моль/м<sup>3</sup>с; моль/м<sup>2</sup>с).

Мы можем написать следующие выражения для скоростей реакции (7)-(17):

$q1 = N_{H_2O} \times N_c \times K1 \times S$ ; где q1 – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (1) – скорость уменьшения количества паров воды в камере; увеличение количества комплексов CO на поверхности образца;  $2 \times q1$  – скорость увеличения количества атомов водорода на поверхности вещества;

$q2 = N_{H_2}^2 \times N_c \times K2 \times S$ ; где q2 – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (2) – скорость увеличения количества молекул метана в камере, а  $2 \times q2$  – скорость уменьшения количества молекул водорода в камере;

$q3 = N_{H_2} \times K3 \times N_c \times S$ ; где q3 – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (3) – скорость уменьшения количества молекул водорода в камере;  $2 \times q3$  – скорость увеличения количества атомов водорода на поверхности вещества;

$q4 = N_{CO_2} \times N_c \times K4 \times S$ ; где q4 – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (3) – скорость уменьшения количества молекул углекислого газа в камере;  $2 \times q4$  – скорость увеличения количества комплексов CO на поверхности вещества;

$q5 = N_{H_2}^2 \times K5 \times S^2$ ; где q5 – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (3) – скорость увеличения количества молекул водорода в камере;  $2 \times q5$  – скорость уменьшения количества сорбированных атомов водорода на поверхности вещества;

$q6 = N_{COs} \times K6 \times S$ ; q6 – скорость изменения количества вещества (моль/с) обус-

ловленного реакцией (3) – скорость увеличения количества молекул CO газа в камере; скорость уменьшения количества комплексов CO на поверхности вещества;

$q7 = N_{H_2O} \times N_{COs} \times K7 \times S$ ; где  $q7$  – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (1) – скорость уменьшения количества молекул воды в камере; скорость уменьшения количества комплексов CO на поверхности образца; скорость увеличения количества молекул водорода, углекислого газа в камере;

$q8 = N^{3H_2} \times N_{COs} \times K8 \times S$ ;  $q8$  – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (2) – скорость увеличения количества молекул метана, воды в камере, скорость уменьшения количества комплексов CO на поверхности образца,  $3 \times q8$  – скорость уменьшения количества молекул водорода в камере;

$q9 = N^{3H_2} \times N_{COg} \times K9$ ;  $q9$  – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (2) – скорость увеличения количества молекул метана, воды в камере, скорость уменьшения количества молекул CO в камере,  $3 \times q8$  – скорость уменьшения количества молекул водорода в камере;

$q10 = N_{H_2O} \times N_{COg} \times K10$ ; где  $q10$  – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (1) – скорость уменьшения количества молекул воды в камере; скорость уменьшения молекул газа CO в камере;  $2 \times q10$  – скорость увеличения количества молекул водорода, углекислого газа в камере;

$q11 = N_{CH_4} \times K11$ ; где  $q11$  – скорость изменения количества вещества (моль/с) обусловленного реакцией (1) – скорость уменьшения количества молекул метана в камере;  $2 \times q11$  – скорость увеличения количества молекул водорода, углекислого газа в камере.

Используя выражения для скоростей реакции запишем уравнения баланса для концентраций атомов на поверхности образца и молекул газа в камере установки:

$$\frac{dN_{H_2O}}{dt} = -q1 - q7 + q8 + q9$$

$$\frac{dN_{H_2}}{dt} = -q2 - 2 \times q3 - 3 \times q8 - 3 \times q9 + q5 + q10 + 2 \times q1$$

$$\frac{dN_{COg}}{dt} = -q9 - q10 + q6$$

$$\frac{dN_{CO_2}}{dt} = -q4 + q7 + q10$$

$$\frac{dN_{CH_4}}{dt} = -q11 + q2 + q8 + q9$$

$$\frac{dN_C}{dt} = -2 \times q1 - 2 \times q3 - 2 \times q4 + 2 \times q5 + q6 + q7 + q8$$

$$\frac{dN_{COs}}{dt} = -q6 - q7 - q8 + q1 + 2 \times q4$$

$$\frac{dN_H}{dt} = -2 \times q5 + 2 \times q1 + 2 \times q3$$

В качестве предположений модели полагаем, что в начальный момент времени  $N_{H_2O}(0) = N(0)$  (определяется начальным давлением паров воды в камере и может считаться заданным),  $N_C(0) = N_C$  (определяется начальной концентрацией поверхностно активных центров и может считаться заданным; для всех остальных значений  $N_i(0) = 0$ ).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ВЗВЕШИВАНИЯ И МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ГРАФИТА IG-110

Повторное взвешивание образцов после коррозионных испытаний показало убыль массы  $\Delta m = 0,03807$  г, что составляет около 2,6 % массы образца до коррозионных испытаний.

Результаты микроструктурных исследований позволили получить микроизображения поверхности и Рамановские спектры исследуемых образцов (см. рисунки 12).

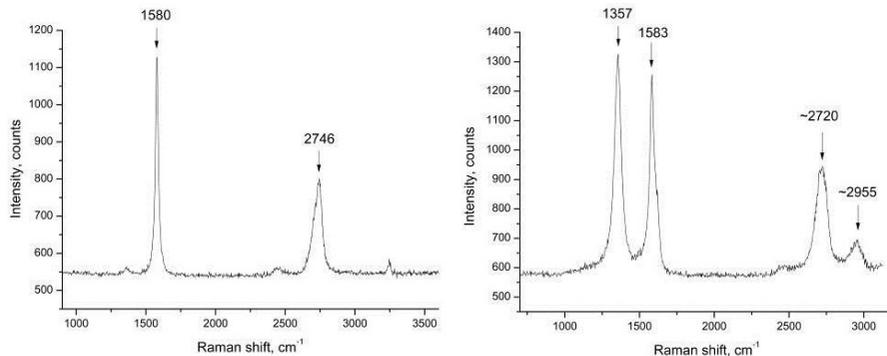
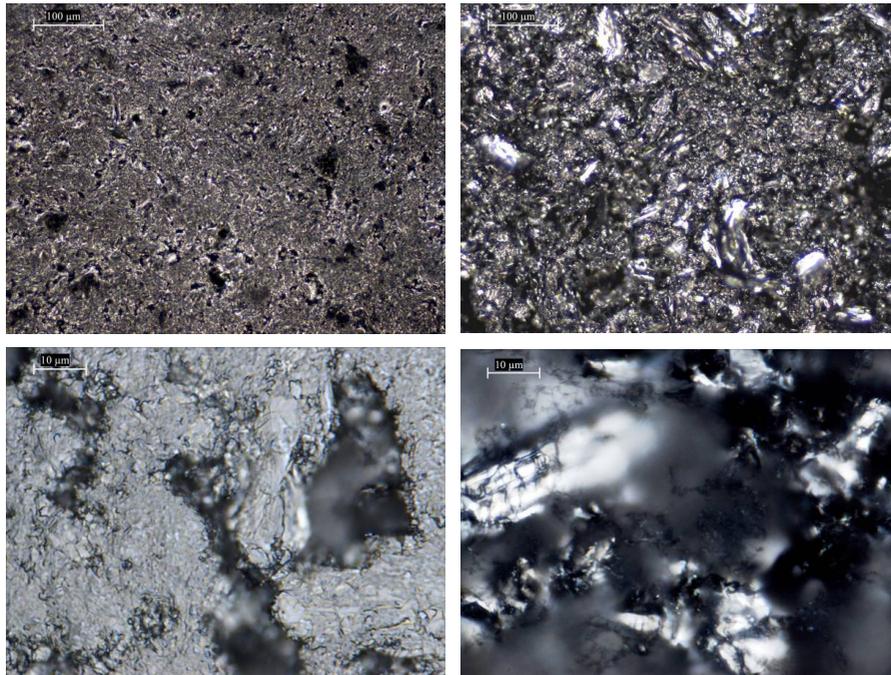
Оказалось, что исходный образец имеет характерную графитовую поверхность с соответствующим Рамановским спектром, представленным двумя основными графитовыми пиками G со смещением  $1580 \text{ см}^{-1}$  и 2D в области  $2740 - 2750 \text{ см}^{-1}$ .

После коррозионных испытаний наблюдается существенное потемнение и уменьшение плотности поверхности образца, в некоторых областях появляются сажевые и нитеобразные структуры. В Рамановском спектре обработанного образца появляется интенсивный пик D в области  $1360 \text{ см}^{-1}$ , который свидетельствует о появлении большого количества дефектов в графитовой структуре.

Спектр, соответствующий областям с нитеобразными структурами, представлен довольно узкими пиками, и, несмотря на интенсивный дефектный пик D, существенного смещения G пика не наблюдается, при этом сохраняется интенсивный пик 2D, который свидетельствует о дальнем порядке структуры. Всё это позволяет предположить, что в обработанном образце имеются углеродные нано-трубки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований были получены зависимости изменения давления различных газов в камере с исследуемыми образцами графита (РГТ, IG-110) при их линейном нагреве.



До коррозионных испытаний

После коррозионных испытаний

Рисунок 12. Результаты микроструктурных исследований поверхности образцов графита

В первом эксперименте с РГТ было обнаружено что в основном кислород взаимодействуя с графитом при температурах до 800°C образует углерод (~90%). Остальная часть (10%) образует С-О комплексы которые не десорбируются при исследуемых температурах.

Была предложена феноменологическая модель взаимодействия кислорода и водяного пара с графитом по которой были рассчитаны параметры Аррениусовской

зависимости константы взаимодействия кислорода с графитом: (моль/(с\*м<sup>2</sup>\*Па)) и водяных паров с графитом: (моль/(с\*м<sup>2</sup>\*Па)). Данное выражение совпало по порядку величины с результатами, полученными для константы взаимодействия с реакторным графитом марки NBG-18 приведенными в работе [16].

Для второго эксперимента с IG-110 были получены зависимости изменения состава газа в камере при напуске паров воды на различных температурах образца графита.

Для анализа полученных зависимостей были составлены выражения баланса газа в камере, с учетом различных реакций на поверхности графита и газофазных реакций в камере установки.

Предложена модель, основанная на определении концентраций различных газов в камере с помощью системы дифференциальных уравнений.

Результаты микроструктурных исследований графита до и после испытаний показали, что коррозия приводит к появлению большого количества дефектов в графитовой структуре на поверхности образца. Взвешивание образца позволило определить потерю массы образца за время испытаний, что составила около 2,6%.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ohashi, H.* Concept of an Inherently-safe High Temperature Gas-cooled Reactor/ H. Ohashi, H. Sato, Y. Tachibana, K. Kunitomi and M. Ogawa // AIP Conf. Proc. ICANSE2011: Denpasar, INDONESIA, November 14-17, 2011 – 2012. – Vol.1448. – Pp. 50-58.
2. *Bundy F.P.* Direct conversion of graphite to diamond is static pressure apparatus // J. Chem. Phys. – 1963. – V. 38 – № 3 – P. 618 – 631.
3. *Minato, K.* Thermodynamic Analysis of Behavior of HTGR Fuel and Fission Products under Accidental Air or Water Ingress Conditions/ K. Minato, K. Fukuda// Proc. IAEA Technical Committee Mtg. on Response of Fuel, Fuel Elements and Gas-cooled Reactor Cores under Accidental Air or Water Ingress Conditions, IAEA-TECDOC-784. – 1995. – Pp.86-91.
4. *Essenhigh, R.H.* (1981), «Fundamentals of Coal Combustion in Chemistry of Coal Utilization», Second Supplementary Volume, Edited by M.A. Elliott, Chapter 19, pp. 1153 -1312, John-Wiley & Sons, New York, USA.
5. *Minh, C.L., C. Li and T.C. Brown* (1997), «Kinetics of Coke Combustion during Temperature-Programmed Oxidation of Deactivated Cracking Catalysts», Studies in Surface Science and Catalysis 111, 383 – 390.
6. *Moulijn, J.A. and F. Kapteijn* (1995), «Towards a Unified Theory of Reactions of Carbon with Oxygen-Containing Molecules», Carbon, 33 (3), 1155 – 1165.
7. *Chen, S.G., R.T. Yang, F. Kapteijn and J.A. Moulijn* (1993), «A New Surface Oxygen Complex on Carbon: Toward a Unified Mechanism for Carbon Gasification Reactions», Industrial & Engineering Chemistry Research 32, 2835 – 2840.
8. *El-Genk, M.S. and J.M. Tournier* (2011), «Development and Validation of a Graphite Oxidation Model», J. Nuclear Materials 411, 193 – 207.

9. *El-Genk, M.S. and J.M. Tournier* (2012a), «Comparison of Oxidation Model Predictions with Gasification Data of IG-110, IG-430 and NBG-25 Nuclear Graphite», *J. Nuclear Materials* 420, 141 – 158.
10. *Ahmed, S., M.H. Back and J.M. Roscoe* (1987), «A Kinetic Model for the Low Temperature Oxidation of Carbon», *Combustion and Flame* 70, 1 – 16.
11. *Du., Z., A.F. Sarofim and J.P. Longwell* (1990), «Activation Energy Distribution in Temperature Programmed Desorption: Modeling and Application to the Soot-Oxygen System», *Energy and Fuels* 4, 296 – 302.
12. *Du., Z., A.F. Sarofim, J.P. Longwell and C.A. Mims* (1991), «Kinetic Measurement and Modeling of Carbon Oxidation», *Energy and Fuels* 5, 214 – 221.
13. *Campbell, P.A. and R.E. Mitchell* (2008), «The Impact of the Distributions of Surface Oxides and their Migration on Characterization of the Heterogeneous Carbon-Oxygen Reaction», *Combustion and Flame* 154, 47 – 66.
14. *Zhuang, Q., T. Kyotani and A. Tomita* (1995), «Dynamics of Surface Oxygen Complexes during Carbon Gasification with Oxygen», *Energy Fuels* 9, 630 – 634.
15. Graphite Oxidation Simulation in HTR Accident Conditions – 3<sup>rd</sup> Year and Final Technical Report Mohamed S. El-Genk, Jean-Michel Tournier and Boyce Travis Institute for Space and Nuclear Power Studies MSC01 1120 1 University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131-0001 Technical Report ISNPS-UNM-1-2012\*Institute for Space and Nuclear Power Studies (ISNPS) \* Third Year and Final Technical Report for DOE NEUP Grant No. 00044825 00002, Project No. 09-830 to University of New Mexico. Project Title: Graphite Oxidation Simulation in HTR Accident Conditions October 2012
16. Graphite Oxidation Simulation in HTR Accident Conditions – 3<sup>rd</sup> Year and Final Technical Report Mohamed S. El-Genk, Jean-Michel Tournier and Boyce Travis Institute for Space and Nuclear Power Studies MSC01 1120 University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131-0001 Technical Report ISNPS-UNM-1-2012\*Institute for Space and Nuclear Power Studies (ISNPS) \* Third Year and Final Technical Report for DOE NEUP Grant No. 00044825 00002, Project No. 09-830 to University of New Mexico. Project Title: Graphite Oxidation Simulation in HTR Accident Conditions October 2012
17. *С.А. Кабакчи, Г.П. Булгакова*. Радиационная химия в ядерном топливном цикле. НИФХИ им. Л.Я. Карпова. РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1997, гл. 9, <http://www.chemnet.ru/rus/teaching/kabakchi/welcome.html>.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТРИТИЯ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВР-К

**Байметов М.А., Мильц О.С., Глущенко В.Н., Харкин П.В.**

Центр комплексных экологических исследований РГП ИЯФ РК, г. Алматы, РК

### ВВЕДЕНИЕ

Тритий, в отличие от других радионуклидов, может накапливаться в атмосфере в течение длительного времени. Следовательно, существует потенциальная опасность облучения, связанная с возрастающим накоплением трития при развитии ядерной энергетики и сопутствующим развитием атомной промышленности, включая и заводы по переработке топлива.

В настоящее время перед мировым сообществом остро стоит проблема по учету содержания радионуклидов в окружающей среде. Тритий в основном находится в виде тритиевой воды и, следовательно, обладает высокой миграционной и проникающей способностью, как в минералогические, так и биологические объекты.

В связи с этим особым стоит вопрос определения содержания и мониторинга трития в атмосферном воздухе вблизи действующих промышленных и исследовательских реакторов.

Работа проводилась по двум направлениям:

- Отработка отбора проб снега с последующим измерением трития в снеговой воде;
- Отработка отбора проб методом криогенного вымораживания.

### МЕТОДОЛОГИЯ РАБОТ

В основу методики отбора проб воздуха положена конденсация водяных паров, содержащихся в воздухе на охлаждаемой жидким азотом поверхности пластин радиатора до температуры ниже точки росы. Так как температура пластин радиатора, соединенного хладопроводом с жидким азотом, гораздо ниже 0°C, то контакт водяных паров с поверхностью пластин радиатора завершался кристаллизацией. Радиатор с хладопроводом извлекался из сосуда Дьюара, затем проба с инеем собиралась после оттаивания в чашку Петри. Объем пробы после оттаивания составлял не менее 5÷7 мл. Проба переносилась в емкость объемом 20 мл, тщательно закрывалась и доставлялась в Центр комплексных экологических исследований (ЦКЭИ) для дальнейшего измерения трития. Схема устройства представлена на рисунке 1.

Отбор проб снеговой воды в каждой точке для определения трития в зимний период производился так, чтобы в составе отбираемой снежной массы присутствовал снег от верхнего до нижнего (приземного) слоя. Отобранная снежная масса оттаивалась в лаборатории, полученная вода (около 1л) помещалась в специальную емкость, доставлялась в ЦКЭИ для дальнейшего измерения трития в отобранных пробах снеговой воды.

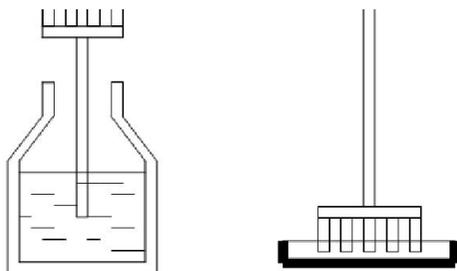


Рисунок 1. Схема устройства криогенного вымораживания

Отработка методики инструментального определения трития с использованием жидкосцинтилляционной спектрометрии проводилась в ЦКЭИ. Из отобранных проб снеговой воды отбирается по 5 мл воды в пластиковые емкости для измерения трития, которая предварительно фильтруется. Затем добавляют 15 мл сцинтилляционного коктейля, перемешивают и проводят измерение на бета-спектрометре «Tri-Carb 3100TR» (рисунок 2б).

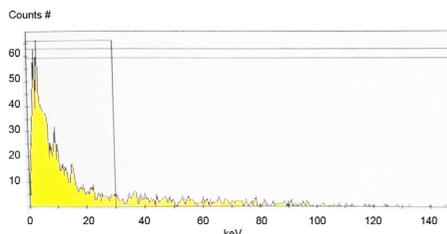


Рисунок 2а. Спектр трития



Рисунок 2б. бета-спектрометре «Tri-Carb 3100TR»

Оценка метрологических параметров методики определения трития с использованием жидкосцинтилляционной спектрометрии проверялась на стандартном растворе трития и показала достаточно высокую сходимость результатов измерения. Реальный спектр трития представлен на рисунке 2а.

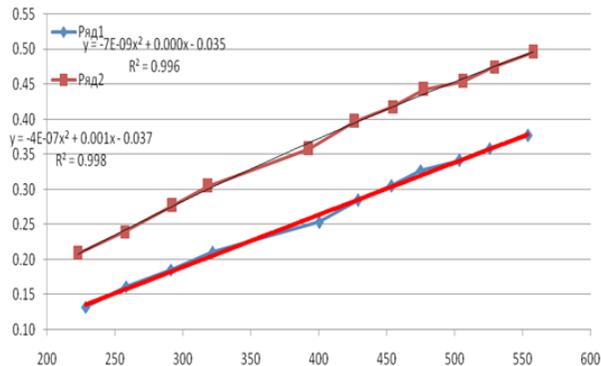


Рисунок 3. Кривая гашения

Были проведены работы по построению кривой гашения для трития (зависимость эффективности регистрации от параметра гашения измеряемого образца -  $tSIE$ ) для оптимального соотношении исследуемого раствора со сцинтилляционным коктейлем 5:15. Кривая гашения для трития при соотношении раствора и коктейля показана на рисунке 3.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения отбора проб снеговой воды были выбраны 15 реперных точек, расположенных по розе ветров относительно трубы реактора ВВР-К. Расположение точек отбора представлено на рисунке 4.



Рисунок 4. Схема расположения реперных точек

В зимне-весенний сезон проведен последовательный отбор проб снега в 15 точках на территории Института ядерной физики, всего отобрано 60 проб. Была проведена подготовка проб к измерению следующим образом: методом фильтрования отделяли механические примеси и проводили дополнительную очистку воды методом перегонки.

Измерение активности бета-излучающего нуклида  $^3\text{H}$  в полученных пробах воды выполняли на жидкостносцинтилляционном бета-спектрометре «TRI-CARB 3100TR», время набора спектра составляло три часа, диапазон энергий 0-15 кэВ. В качестве измерительной кюветы использовали стандартные пластмассовые виалки объемом 20 мл, при этом оптимальное соотношение исследуемой пробы воды и сцинтилляционного коктейля «Ultima Gold» составляло 5÷15 мл. Результаты определения трития в снежном покрове представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты определения трития в снежном покрове

Точка исследования	$^3\text{H}$ , Бк/л декабрь 2013	$^3\text{H}$ , Бк/л январь	$^3\text{H}$ , Бк/л февраль	$^3\text{H}$ , Бк/л март
1	$8 \pm 4$	< 6	< 6	< 6
2	< 6	< 6	< 6	< 6
3	$9 \pm 4$	< 6	< 6	< 6
4	$7 \pm 4$	$8 \pm 4$	< 6	< 6

5	< 6	< 6	< 6	< 7
6	7 ± 4	< 6	< 6	28 ± 4
7	< 6	< 7	8 ± 4	< 6
8	16 ± 4	8 ± 4	< 6	8 ± 4
9	7 ± 4	< 7	< 6	< 6
10	< 6	< 6	9 ± 4	< 6
11	21 ± 4	8 ± 4	12 ± 4	7 ± 4
12	< 6	< 5	< 6	< 6
13	< 6	< 6	9 ± 4	< 6
14	10 ± 4	12 ± 4	< 6	< 6
15	12 ± 4	< 6	< 6	< 6

Как видно из таблицы, большая часть результатов ниже предела обнаружения, который составлял для трития 6 Бк/дм<sup>3</sup>. В семи точках отбора проб в разное время наблюдалось незначительное содержание трития в снеговой воде.

7 точек с численными значениями содержания трития были взяты, как наиболее привлекательные, для проведения работ по определению содержания трития в воздушном бассейне в зоне влияния реактора ВВР-К.

Отбор проб водяных паров атмосферного воздуха проводился с помощью изготовленной криогенной установки открытым способом. Устройство для криогенного вымораживания трития из атмосферного воздуха показано на рисунке 5.



Рисунок 5. Устройство для криогенного вымораживания трития

В состав криогенной установки входят:

- сосуд Дьюара, наполненный жидким азотом;
- система хладоснабжения – радиатор, соединённый с хладопроводом;
- система подачи жидкого азота во время вымораживания.

На выбранном участке исследования устанавливалась криогенная установка, и производилось вымораживание на высоте около 60 см. от поверхности земли.

Жидкий азот из сосуда Дьюара наливают в термос, куда затем помещают радиатор с хладоводом. После помещения радиатора в термос с жидким азотом, начинается процесс вымораживания водяных паров атмосферного воздуха на поверхность пластин радиатора. Поверхность пластин радиатора покрывалась инеем, который и являлся водяными парами воздуха. Процесс вымораживания продолжался порядка 1.5÷2 ч. После окончания процесса вымораживания радиатор аккуратно вытаскивали из термоса, переворачивали пластинами и вниз и устанавливали в чашку Петри для оттаивания инея. Для исключения потерь, предварительно перед оттаиванием, замороженный иней аккуратно снимают пинцетом с пластин радиатора. После оттаивания радиатор убирают и пробу переносят в «виалу».

Объем пробы составляет, в зависимости от влажности и температуры, от 5 до 10 мл. Пробы доставляли в аналитическую лабораторию ЦКЭИ. Поступившие в лабораторию пробы воды фильтруются, с использованием бумажных фильтров, для удаления механических примесей. Из общей пробы отбирается образец объемом 5 мл и помещается в пластиковую виалу объемом 20 мл с добавлением 15 мл сцинтилляционного коктейля (Ultima Gold LLT).

Измерение активности <sup>3</sup>H в полученных пробах воды выполняли, как говорилось выше, на жидкостносцинтилляционном бета-спектрометре «TRI-CARB 3100TR». Результаты определения трития в воздухе представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты определения трития в воздухе

Место отбора	№ п/п	Определения трития в воздухе (июль 2014 г), Бк/м <sup>3</sup>
Между реактором и градирней	5	< 0,05
Рядом с ПЗРО	6	< 0,04
Перед прачечной	8	< 0,06
Между прачечной и спец. очисткой	10	0,14 ± 0,06
С левой стороны от проходной	15	< 0,01
Рядом со складом	14	0,46 ± 0,09
Перед спец. очисткой	11	0,33 ± 0,08

Как видно из таблицы, между прачечной и спец. очисткой, рядом со складом и перед спец. очисткой наблюдаются численные значения содержания трития. По результатам полученных данных было решено провести повторный отбор проб атмосферной влаги в четырёх точках: между прачечной и спец. очисткой, с левой стороны от проходной, рядом со складом и перед спец. очисткой. Результаты повторного определения трития в воздухе подтвердили незначительные содержания трития в двух точках отбора проб и представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты определения трития в воздухе

Место отбора	№ п/п	Определения трития в воздухе (август - сентябрь 2014 г), Бк/м <sup>3</sup>
Между прачечной и спец. очисткой	10	0,047 ± 0,020
С левой стороны от проходной	15	< 0,041

Рядом со складом	14	0,094 ± 0,020
Перед спец. очисткой	11	< 0,343

В таблице 4 приведены сводные результаты отбора проб трития в воздухе и снеговой воде с декабря 2013 г по сентябрь 2014 г.

**Таблица 4. Сводная таблица результатов определения содержания трития**

№ п/п	Место отбора	Содержание трития в воздухе (лето 2014 г)		Содержание трития в снежном покрове (декабрь 2013 г - март 2014 г), Бк/л			
		Бк/м <sup>3</sup> , июль	Бк/м <sup>3</sup> , август - сентябрь				
1	Между реактором и градирней	<0,05		<6	<6	<6	<7
2	Рядом с ПЗРО	<0,04		7 ± 4	<6	<6	28 ± 4
3	Перед прачечной	<0,06		16 ± 4	8 ± 4	<6	8 ± 4
4	Между прачечной и спец. очисткой	0,14 ± 0,06	0,047 ± 0,020	<6	<6	9 ± 4	<6
5	С левой стороны от проходной	<0,01	<0,041	21 ± 4	8 ± 4	12 ± 4	7 ± 4
6	Рядом со складом	0,46 ± 0,09	0,094 ± 0,020	10 ± 4	12 ± 4	<6	<6
7	Перед спец.очисткой	0,33 ± 0,08	<0,343	12 ± 4	<6	<6	<6

Как видно из сводной таблицы были подтверждены незначительные содержания трития в трёх точках отбора проб. Следует помнить о том, что большое влияние на значение концентрации трития в воздухе оказывают величины температуры воздуха и скорость ветра.

## ВЫВОДЫ

- Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в отобранных пробах снежного покрова для определения трития в воздухе в зимний и летний периоды 2014 г, в случае, когда реактор запущен, содержание трития не превышает пределов обнаружения. Исключение составляют лишь численные значения, зафиксированные в точках 4, 6 и 7 (на уровне 0.1-0.5 Бк/м<sup>3</sup>).
- Следовые концентрации трития свидетельствуют о том, что чувствительность метода позволяет уверенно зафиксировать влияние реактора ВВР-К на окружающую среду. При этом необходимо отметить, что уровни зафиксированных содержаний трития меньше допустимой среднегодовой активности на четыре порядка для населения (1900 Бк/м<sup>3</sup>) и на шесть порядков для персонала (4.4×10<sup>5</sup> Бк/м<sup>3</sup>).
- Разработанная методика определения трития в атмосферном воздухе обладает необходимой точностью и достоверностью для контроля загрязнения приповерхностного слоя атмосферы.

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАДОНА И ТОРОНА НА УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**Халенов О.С. Балтабаев А.Ж.**

ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, РК

### ВВЕДЕНИЕ

Основными источниками радиоактивного загрязнения окружающей среды на предприятиях ПСВ урана и заводах по переработке руды является радон и пылеобразные частицы, содержащие уран и продукты его распада. За исключением радона все дочерние продукты урана являются твердыми веществами, испускающими α- и β-излучение в основном вместе с γ-излучением.

Радон - тяжелый благородный радиоактивный газ, который содержится в руде. Он не имеет ни запаха, ни вкуса, прозрачен и бесцветен. Все изотопы радона радиоактивны и довольно быстро распадаются: самый устойчивый изотоп <sup>222</sup>Rn имеет период полураспада 3,8 сут., второй по устойчивости – <sup>220</sup>Rn (торон) – 55,6 с. Радон постоянно поступает в атмосферу технологических цехов предприятия из ураносодержащих пород (продуктивный раствор), закись – окись урана: <sup>222</sup>Rn – при делении ядер <sup>238</sup>U, а <sup>220</sup>Rn – при делении ядер <sup>232</sup>Th.

Учитывая объемы добычи и переработки природного урана, необходимость совершенствования радиационной безопасности очевидна. В связи с этим одной из важных задач является систематическое проведение радиационно-экологического мониторинга радона, который дает четкие представления о местах загрязнения, количестве, динамике роста концентрации вредных газов или сокращения отходов в том или ином технологическом участке уранодобывающего предприятия.

### НАЗНАЧЕНИЯ

Система предназначена для получения, обработки, регистрации и представлений информации о параметрах, характеризующих радиационное состояние объекта, и о дозовых нагрузках на персонал при нормальном режиме и авариях.

Функционирование системы обеспечивает оперативное обнаружение отклонение контролируемых параметров от нормируемых значений с целью предупреждения переоблучения персонала, населения и загрязнения окружающей среды выше допустимых уровней.

### ЗАДАЧИ

Основной задачей радиационного контроля является предупреждение вредного воздействия радиации на организм человека. Имеется в виду неукоснительное (регламентируемое) выполнение санитарно-гигиенических правил и норм, а также радиационной безопасности.

Автоматизированная система контроля радона на каждом технологическом участке уранодобывающего предприятия позволит выполнить следующие задачи:

- измерить эквивалентную равновесную объемную активность (ЭРОА) радона-222 и радона-220 (торона) в воздухе в online режиме, сопровождающиеся данными показания температуры, влажности, давления;
- достоверный учет и контроль радона в производственных и иных помещениях предприятия;
- беспроводную передачу данных на централизованный сбор информации;
- конфиденциальность информации, а также защиту от исправлений исходных данных (исключение возможности фальсификации учетных данных, отражение корректировки данных с объяснениями причин, ведение персональных записей);
- своевременно оповещать о превышении предельно допустимых концентраций радона, отображать состояние всех контролируемых объектов на экранах оператора, выполняет архивацию измерений, а также сохраняет информацию о средствах измерения с возможностью формирования отчетов;
- своевременно принимать соответствующие меры по минимизации выбросов радиоактивного газа и вредных веществ и их соединений в рабочих помещениях;
- обеспечить комфортные и безопасные условия труда для работы персонала предприятия;
- обеспечить выполнение требований санитарных правил и гигиенических норм «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», «Санитарно-эпидемиологические требования к радиационно-опасным объектам» и других нормативных документов.

### ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Для выполнения работ по автоматизации мониторинга радона, первоначально необходимы высокоточные и современные приборы для измерения дочерних продуктов распада радона.

В нашем случае, выбраны приборы компании SARAD Германия.

Для высокоточных измерений были разработаны фильтры тонкой очистки пор мембраны измерительной головки. Фильтр используется в комбинации с автоматически управляемым роторным насосом, который обеспечивает постоянный поток воздуха через фильтр. Датчик измеряет постоянное давление воздуха на фильтр для того, чтобы быстро выявить непригодный или перфорированный фильтр.

В качестве детектора используется кремниевый детектор площадью 400 мм<sup>2</sup> с защищенной от света чувствительной областью. В сочетании с тонкими порами мембраны фильтра, достигается оптимальное спектральное разрешение для разделения продуктов распада радона.

Анализ проводится непрерывно, то есть идентификация продуктов распада и определение активности собранных продуктов распада происходят одновременно. Он показывает эквивалентную равновесную объемную активность радона (ЭРОА) и потенциальную энергию концентрации альфа-частиц для каждого продукта распада радона и торона.

Из-за длительного времени полураспада торона (продукта распада Po-212) фильтр не используется для определения концентрации продуктов распада торона. Для

достижения приемлемого временного разрешения (например, почасовое изменение) скорость распада Po-212 дифференцируется.

Передача данных и управление приборами осуществляться с помощью беспроводного канала связи, такие как ZigBee-адаптеры. Которая в свою очередь при малом энергопотреблении может поддерживать не только простые топологии сети («точка-точка», «дерево» и «звезда»), но и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую Mesh топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Что является основной особенностью технологии ZigBee.

Приборы необходимо устанавливать на расстоянии не менее одного метра от возможных источников поступления радона в технологических помещениях (сорбционные колоны, транспортные упаковочные контейнеры). Запрещается устанавливать приборы в каких-либо закрытых или полужакрытых пространствах (где воздух доступа ограничен). Наиболее приемлемым местом считается, где время пребывания сотрудника максимально.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система контроля, обеспечивающая необходимую минимизацию негативных воздействий на персонал, применима для оценки экологических последствий урановых горнодобывающих, перерабатывающих предприятий, и для различных радиохимических производств.

Институтом высоких технологий, разрабатывается и планируется внедрение автоматизированной системы контроля и мониторинга радона и торона, дочерних продуктов распада на уранодобывающем предприятии, включающее в себя измерение эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона-222 и радона-220 (торона) в воздухе в режиме online сопровождающиеся данными показания температуры, влажности, давления. Также адаптация и внедрение программного обеспечения беспроводной передачей данных со всех приборов, на автоматизированное рабочее место оператора.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единая Государственная Автоматизированная Система Контроля Радиационной Обстановки на территории Российской Федерации. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.feerc.obninsk.org/Ru/Egaskrow.xml>.
2. *Елохин А.П.* Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки окружающей среды: Уч. пособие. — М.: НИЯУ «МИФИ», 2010.
3. The European Atomic Energy Community. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/euratom/euratom\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/euratom/euratom_en.htm).
4. *Devell L.* Radiological Emergency Monitoring Systems in the Nordic and Baltic Sea Countries / L. Devell, B. L. Riso. — Roskilde: NKS, 2002. — 72 p.
5. Радиационный мониторинг в сети. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [www.barentsobserver.com/ru/node/20176](http://www.barentsobserver.com/ru/node/20176).
6. Автоматизированная система радиационного контроля. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [www.rad.org.by/articles/radiation/asrc.html](http://www.rad.org.by/articles/radiation/asrc.html).

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ»

**Блынский П.А.**

ТОО «Институт высоких технологий», г. Алматы, РК

В 1992 Научно-техническим Советом Агентства по атомной энергии РК одобрена «Концепция захоронения радиоактивных отходов Республики Казахстан».

В процессе работы над концепцией был составлен кадастр радиоактивных отходов для всей территории Республики Казахстан по всем, без исключения, отходоформирующим отраслям народного хозяйства и военного ведомства. Общий объем РАО составил свыше 230 млн. тонн с суммарной активностью более 13 млн. Кюри. Действующая до настоящего времени Казахстанская система классификации радиоактивных отходов удовлетворительно соответствовала требованиям радиационной безопасности и эффективности обращения с отходами на этапах сбора некондиционированных РАО, сортировки, перевозки и временного хранения в местах образования и накопления. Но та же система не удовлетворяет требованиям полноты и эффективности на этапах кондиционирования радиоактивных отходов и их дальнейшего длительного хранения или окончательного захоронения. На настоящий момент, с учетом отмены НРБ-99 и СГТПОРБ-2003 и с учетом имеющихся ошибок в Экологическом кодексе, Санитарных Правилах и Гигиенических нормативах, ситуация даже ухудшилась.

Существующие системы классификации РАО трудно применять к отработавшим источникам ионизирующего излучения (ИИИ). Отработавшие ампульные источники ионизирующего излучения сложно охарактеризовать, используя такие критерии, как «удельная активность», «мощность экспозиционной дозы» или «степень поверхностного загрязнения».

В Казахстанской системе классификации не выделены РАО с повышенным содержанием естественных радионуклидов. В РК в уранодобывающей и нефтегазовой промышленности накоплены огромные количества РАО с низким содержанием естественных радионуклидов, требующие адекватного обращения с ними. Остро стоит проблема обращения с технологическими отходами с повышенным содержанием природных радионуклидов, например, насосно-компрессорные трубы, как отходы уранодобывающей или нефтегазовой промышленности имеют значительное поверхностное загрязнение альфа-активными радионуклидами  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ . В соответствии с действующей классификацией, они могут быть отнесены к среднеактивным отходам, захоронение которых в РК является очень далекой перспективой [1].

Классификация отходов должна устанавливаться с четким представлением целей. Один из способов категоризации отходов, который проверен в странах Западной Европы и рекомендован МАГАТЭ, состоит в их категоризации в соответствии с будущим способом захоронения радиоактивных отходов. Рекомендуется пересмотреть систему классификации отходов РК именно с этой точки зрения.

Согласно классификации, рекомендованной МАГАТЭ [2], РАО подразделяются на:

1. Освобожденные от регулирующего контроля (ниже уровня изъятия, уровня высвобождения);

2. Очень короткоживущие (ОКЖ), которые выдерживаются в условиях хранения до уровней освобождения;
3. Очень низкоактивные (ОН), захораниваемые на свалках обычных или промышленных отходов;
4. Низко активные (НА), подвергаемые изоляции посредством приповерхностного захоронения глубиной до нескольких десятков метров;
5. Среднеактивные (СА), размещаемые на глубине до нескольких сотен метров;
6. Высокоактивные (ВА), размещаемые в геологических могильниках на глубинах от сотен метров с учетом выделения тепла этими отходами.

Кроме того, специально выделяются РАО, имеющиеся в больших объемах и содержащие низкие концентрации естественных радионуклидов, характеризующихся большими периодами полураспада – считается разумным размещать такие отходы в простых пунктах захоронения в виде земляных покрытий, предотвращающих рассеяние отходов, но с постоянным институциональным контролем, предотвращающим несанкционированный доступ населения к массиву отходов. Также специально выделяются использованные источники ионизирующего излучения, которые характеризуются малыми объемами и большими удельными активностями находящихся в них радионуклидов – часто оказывается, что такого рода РАО экономически целесообразно размещать в достаточно глубоких скважинах небольшого диаметра.

Источниками РАО на предприятиях Компании являются следующие основные виды производственной деятельности:

- а) Добыча и переработка урана (бурение, сооружение и ремонт скважин, подземное выщелачивание, производство химического концентрата природного урана и закиси-оксида урана);
- б) Производство таблетированного ядерного топлива;
- в) Плановые работы и вывод из эксплуатации РУ БН-350;
- г) Добыча редкоземельных металлов из сырья с природной радиоактивностью;
- д) Использование закрытых ИИИ.

Виды РАО, образующихся на предприятиях Компании, приведены в Таблице 1.

**Таблица 1. Виды РАО, образующихся на предприятиях АО «НАК «Казатомпром»**

Дочерние предприятия	Низко-активные		Средне-активные		Высоко-активные		Отработавшие срок ИИИ закрытого типа
	ТРО	ЖРО	ТРО	ЖРО	ТРО	ЖРО	
АО «Волковгеология»	+						+
Уранодобывающие предприятия	+						+
АО «Ульбинский металлургический завод»	+	+	+				+
ТОО «МАЭК-Казатомпром»	+		+	+	+		+
ТОО «СП «SARECO»	+	+					
ТОО «Геотехносервис»							+

В процессе производственной деятельности уранодобывающих предприятий образуются только твердые низкоактивные отходы (НАО), объемы ТРО и их активность приведены в таблице 2.

**Таблица 2. НАО, образующиеся на уранодобывающих предприятиях**

наименование отходов/год	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
ТРО, (т)	1 046	1 192	1 446	2 149	1 928	1 504
активность, ГБк	41,81	47,68	57,84	85,96	77,12	60,16

Всего в ходе эксплуатации уранодобывающих предприятий образовано 13 762 тонн радиоактивных отходов общей активностью 550,45 ГБк.

Класс отходов – низкоактивные.

Скорость образования радиоактивных отходов на АО «УМЗ» приведена в таблице 3.

**Таблица 3. Скорость образования радиоактивных отходов на АО «УМЗ»**

наименование отходов/год	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
ЖРО, (м <sup>3</sup> )	103 573,9	96 882,9	97 207,6	77 782,9	71 228,1
ТРО, (т)	79,70	100,40	87,60	115,32	79,17

Количество накопленных жидких, твердых радиоактивных отходов на предприятии приведено в таблице 4.

**Таблица 4. Количество РАО, накопленных на АО «УМЗ»**

наименование отходов	Накопление на 01.01.2013 г.	Суммарная активность (ГБк)
ЖРО*, (м <sup>3</sup> )	6 253 096,1	144,33
в т.ч. низкоактивные (м <sup>3</sup> )	6 253 096,1	144,33
ТРО**, (т)	3 250,71	1 832,13
в т.ч. низкоактивные, (т)	730,41	182,84
в т.ч. среднеактивные, (т)	2 520,30	1 649,29

РУ БН-350 остановлена в 1999 году и в настоящее время находится в стадии вывода из эксплуатации. Разработана концепция по выводу из эксплуатации семи локальных проектов. Общие капиталозатраты на реализацию данных проектов оцениваются в 422 млн. долларов США.

В настоящее время накоплено более 3 000 куб.м ЖРО. Высокоактивные и среднеактивные ТРО размещены в специальных хранилищах, НАО – в хранилищах траншейного типа. Общий объем ТРО оценивается в объеме около 10 тыс. куб.м. [3].

В составе уранодобывающих предприятий Компании существуют несколько видов пунктов хранения/захоронения радиоактивных отходов, обустроенных в соответствии с законодательством Республики Казахстан.

Образующиеся радиоактивные отходы уранодобывающих предприятий Общества хранятся на площадках временного хранения предприятий с последующим вывозом в пункты захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО). Вокруг ПЗРО пробурены наблюдательные скважины до первого водоносного горизонта с целью контроля возможного загрязнения подземных вод.

Специально спроектированные и построенные ПЗРО общим объемом 107 216 м<sup>3</sup> принадлежат следующим уранодобывающим предприятиям Общества:

- СП «Инкай». Два ПЗРО, расположенных на участках ПВ-1 и ПВ-2:
  - ПЗРО ПВ-1. Проектный объем захоронения 10 000 куб.м, заполнен на 2%.
  - ПЗРО ПВ-2. Проектный объем захоронения 16 куб.м, заполнен на 100%.
 СП «Инкай» не планирует расширение или строительство новых ПЗРО.
- ТГХП. ПЗРО расположен на месторождении «Канжуган», проектный объем захоронения 7 200 куб.м, заполнен на 97%. Предприятие планирует расширение действующего или строительство нового ПЗРО в 2015-2020 годах.
- РУ-6. ПЗРО расположен в 90 км от п. Шиели Кызылординской области, проектный объем захоронения 10 000 куб.м, заполнен на 90%, окончательное заполнение планируется в 2016 году. Разработан рабочий проект расширения ПЗРО «2-ая очередь пункта захоронения низкоактивных отходов объемом 50 000 куб.м ТОО «РУ-6».
- Степное-РУ. ПЗРО расположен в 1.5 км от п. Кыземшек Созакского района ЮКО.

Размещение РАО, образовавшихся в результате производственной деятельности АО «УМЗ», производится в сооружениях участка «Хвостовое хозяйство». К ним относятся: пруды-испарители (карты), могильник для РАО, полученных в ходе переработки концентратов тория и тетрафторида, могильник для хранения радиоактивных экстрагентов и масел, могильники для хранения низко- и среднеактивных ТРО и отработанных ампульных источников ионизирующих излучений.

В настоящее время имеются следующие хранилища РАО: траншейного (приповерхностные) и ангарного/выгородочного типа (наземные), применяемые для хранения низко- и среднеактивных отходов, хранилище бункерного типа для хранения ампульных источников, бассейны выдержки, могильник горячей камеры, установка сбора и хранения ЖРО РУ БН – 350.

Обращение с РАО на предприятиях Компании соответствует действующему законодательству Республики Казахстан. В соответствии со спецификой производства каждое из предприятий Компании обладает особенностями при обращении с РАО. В связи с чем, учитывая требования законодательства Республики Казахстан, необходимо по каждому из классов РАО выбрать/разработать технологию переработки/отверждения и дальнейшего захоронения с учетом типа отходов и производственной деятельности предприятия.

Реализация Стратегии обращения с РАО в группе предприятий АО «НАК «Казатомпром» в качестве одного из основных направлений деятельности предусматривает обеспечение системного подхода к учету и безопасному обращению с РАО, работы по усовершенствованию актов законодательства, норм и правил в сфере обращения с РАО с учетом рекомендаций МАГАТЭ.

В существующей системе обращения с радиоактивными отходами не определена организация, ответственная в целом за реализацию единой технической политики по переработке и захоронению радиоактивных отходов.

В 2014 г. специалистами ТОО «ИВТ» был разработан проект стандарта «Методические указания по технологии обращения с РАО до момента их захоронения», рекомендованный для включения в План разработки стандартов КСС АО «НАК «Казатомпром» на 2015 г.

Была создана пилотная версия информационной системы «Электронный банк данных РАО» (ИС ЭБД РАО), направленная на отработку логической структуры, вида и объема вводимой исходной информации и формирование наиболее полной отчетной документации.

ИС ЭБД РАО – это средство учета и контроля имеющихся и нарабатываемых объемов РАО. В частности, ИС ЭБД РАО обеспечивает хранение данных о наличии РАО. При помощи современных технологий обеспечивается конфиденциальность данных.

ИС ЭБД РАО предназначена для предоставления оперативной информации в области учета и контроля над РАО, а также связанного с этим сопроводительного документооборота.

ИС ЭБД РАО предоставляет пользователям возможность ввода данных по РАО и хранения и поиска документов, связанных с учетом, контролем и перемещением РАО. Доступ к ИС ЭБД РАО возможен только для зарегистрированных пользователей с любого персонального компьютера при наличии доступа к сети Интернет.

ТОО «ИВТ» также занимается разработкой следующих проектов:

Геохимический барьер: разработка и апробация методов создания геохимических барьеров на основе модифицированных природных сорбентов для извлечения радионуклидов и ионов тяжелых металлов с целью защиты окружающей среды (на примере ТОО «МАЭК-Казатомпром»).

Уменьшение объемов ЖО и ЖРО: разработка и апробация эффективной технологии сокращения и дезактивации жидких отходов уранового производства АО «УМЗ», включая радиоактивные, на основе гидродинамических, сорбционных, мембранных методов.

Переработка ЖРО РУ БН-350: разработка и апробация технологии очистки, отверждения и захоронения ЖРО ТОО «МАЭК-Казатомпром» на основе ферроцианидных сорбентов.

Исследования по утилизации натрия I контура РУ БН-350: повторное использование натрия I-го контура БН-350 в процессах подземного выщелачивания на рудниках АО «НАК «Казатомпром».

Дезактивация металлолома: создание предприятия по переработке и утилизации низкоактивных металлических отходов АО «НАК «Казатомпром».

Технологии NanoClay и C-Cure: трансферт, адаптация и апробирование эффективных технологий для стабилизации и рекультивации почвы, подверженной радиоактивному воздействию, с целью снижения негативного влияния на экологическую обстановку региона добычи и переработки урана.

Экологический мониторинг: методические рекомендации по контролю радона и уменьшению негативного воздействия на обслуживающий персонал.

Международный научно-технологический центр стран Центральной Азии по безопасному управлению техногенными отходами, включая РАО: разработка концепции, поиск потенциальных партнеров для реализации проекта.

Усовершенствование существующей системы управления в сфере обращения с опасными отходами путем создания единого Оператора по обращению с РАО.

Производственная деятельность по обращению с РАО на предприятиях Общества в настоящее время ведется каждым предприятием самостоятельно, с соблюдением законодательства Республики Казахстан и необходимых требований ядерной и радиационной безопасности.

Обращение с РАО, в соответствии с Законом Республики Казахстан от 11 января 2007 года № 214-III «О лицензировании», относится к лицензируемым видам деятельности, которое включает в себя целый ряд требований к квалификации состава технических руководителей и специалистов, наличию производственно-технической базы, специализированных производственных зданий, инженерных сооружений, машин, механизмов, упаковочных комплектов, тары, а так же требования к пунктам хранения/захоронения РАО, введенным в эксплуатацию на основании актов уполномоченных государственных органов в соответствии с законодательством Республики Казахстан.

Данные требования являются финансово емкими и оказывают большую экономическую нагрузку на предприятия Общества. В этой связи оптимальным решением является создание отраслевой организации – Оператора по обращению с РАО.

МАГАТЭ в своих рекомендациях также считает целесообразным наличие Оператора по обращению с РАО, которому должны быть определены следующие мероприятия в сфере обращения с опасными отходами, включая РАО:

1. Создание организации - Оператора по обращению с радиоактивными отходами, осуществляющего эффективный менеджмент и компетентное управление в сфере обращения с опасными отходами, включая РАО.
2. Создание единой отраслевой системы учета и контроля опасных отходов, включая РАО, по аналогии с ядерными материалами и источниками ионизирующего излучения.
3. Обеспечение непрерывного мониторинга радиационной обстановки и пострекультивационный период для адекватного реагирования в рамках атомной от-

расли.

## ВЫВОДЫ

1. Необходимо пересмотреть существующую классификацию РАО в РК с учетом рекомендаций МАГАТЭ.
2. Необходимо пересмотреть существующие технологии обращения с РАО на предприятиях АО «НАК «Казатомпром» с учетом рекомендаций МАГАТЭ и нормативных документов РК.
3. Необходимо создание единого оператора по обращению с РАО на предприятиях АО «НАК «Казатомпром».
4. Следующим шагом является создание национального оператора по обращению с РАО на территории РК.
5. Одним из приоритетных направлений является создание могильника РАО на территории РК, отвечающего международным нормам. Или нескольких региональных могильников.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет ТОО «ИВТ» о НИР по теме научного направления «Разработка отраслевого плана по обращению с РАО в РК», договор №274/НАК-12 от 25.07.2012 г., Алматы, 2012.
2. Classification of Radioactive Waste, GSG-1, IAEA, Vienna, 2009.
3. Проект «Стратегия обращения с радиоактивными отходами в группе предприятий АО «НАК «Казатомпром» на 2014-2020 годы».

## РАЗРАБОТКА ГИС-ПРОЕКТА В РАМКАХ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА УЛЬБИНСКОМ УЧАСТКЕ

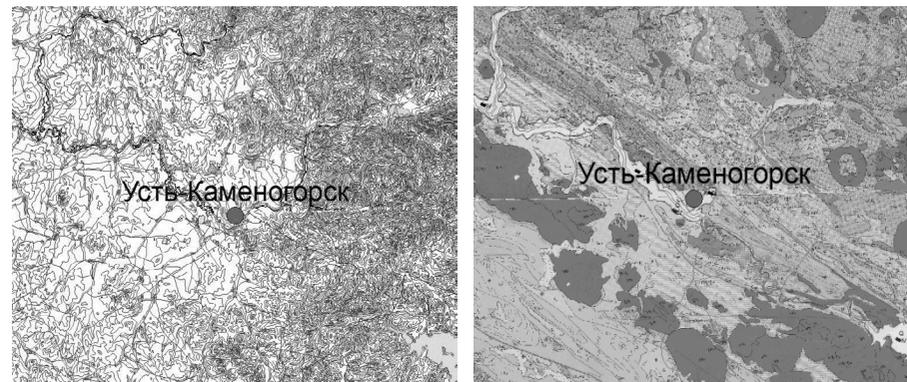
УДК 004.418

**М.Г. Гаджимагомедова, А.М. Яковенко, Е.Ю. Пестов, А.Е. Великанов**  
Институт геофизических исследований, г. Курчатов, РК

На примере Ульбинского участка расположенного в Восточно-Казахстанской области в районе города Усть-Каменогорск характеризуется база данных, созданная для изучения сейсмической, тектонической и других видов активности в зоне Иртышского разлома созданная с использованием фондовых и полевых материалов.

Комплексные данные сгруппированы в три основных набора, содержащих информацию регионального (1:1 000 000 - 1:500 000), площадного (1:200 000 - 1:50 000) и локального (1:25 000 - 1:5 000) участков, для территорий охватывающих соответственно площади радиусом 200, 25, 5 км. Каждый набор данных включает несколько блоков: геология, геоморфология, гидрогеология, гравиметрия, магнитометрия, сейсмология, тектоника, топография и др. Блоки объединены и выстроены в расчете на использование при оценке, анализе и решении задач, относящихся к выявлению геологических опасностей, тектонических нарушений, связанных с сейсмичностью.

Ульбинский участок расположен на правом берегу реки Иртыш у слияния рек Иртыш и Ульба, в пределах Иртышской зоны смятия Зайсанской складчатой системы в Калбинском горном районе Казахстана (рисунок 1).



а) топографическая карта

б) геологическая карта

Рисунок 1. Расположение участка

Иртышская зона смятия является сильно сжатым и дислоцированным горстантиклинорием, сложенным осадочными и интрузивными породами палеозойского возраста [1]. Ульбинский участок по данным карты общего сейсмического районирования РК приурочен к протяженной сейсмогенерирующей зоне северо-западно-

го простирания, которая совпадает с зоной регионального Иртышского разлома, включая и реку Иртыш [2].

Климат района резко континентальный, с большими суточными и годовыми амплитудами колебания температуры воздуха, с поздними весенними и ранними осенними заморозками. Зима холодная с резкими температурными переходами.

Усть-Каменогорск является крупным промышленным центром Казахстана, на его территории расположены и работают: Ульбинский металлургический завод, ТОО «КАЗЦИНК», Усть-Каменогорская ТЭЦ и т.д. (рисунок 2).



Рисунок 2. Основные промышленные производства г. Усть-Каменогорск

На них выпускают продукцию для нужд атомной энергетики, производят цинк и медь, драгоценные металлы и свинец, занимаются обеспечением производства тепловой энергии для крупных промышленных предприятий и жилищно-коммунального сектора города. Данные производства являются опасными объектами с точки зрения возможного сейсмического воздействия при сильном землетрясении, которое может произойти в рассматриваемом регионе. В связи с этим исследование активности Иртышского и других близких разломов является актуальным в настоящее время.

Рельеф территории расположения промплощадок спокойный, ровный, без впадин и холмов. Ближайшие жилые кварталы находятся на расстоянии: к западу - 2 500 м, к востоку - 1 500 м, к югу - 1 000 м.

#### МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СТРУКТУРЫ ГИС-ПРОЕКТА

Анализируя существующие базы данных [3,4] и учитывая имеющуюся информацию, программные, технические средства, разработана структура БД. Проект состоит из трех наборов данных: регионального, площадного, локального.

Региональный набор данных содержит данные о геологии, гравиметрию, магнетики, спутниковых данных, сейсмологии, тектоники и топографии. Масштаб охвата этих блоков 1:1 000 000 - 1:500 000, радиус 200 км.

Площадной набор содержит: геологию, геоморфологию, гравиметрию, гидрогеологию, магнитометрию, тектонику, топографию. Масштаб территории 1:200 000 - 1:50 000, радиус 25 км.

Локальный набор данных представлен: геологией, гидрогеологией, магнитометрией, топографией, масштаба 1:25 000 - 1:5 000, радиусом 5 км.

Данные получены из различных фондовых материалов, отчетов, монографий и др. источников в виде растровых и векторных карт, а так же текстовых и табличных формах.

Для реализации создания проекта использовались следующие программные средства: ArcGIS v 10.1 [5], AutoCad, MapInfo, CorelDRAW, Microsoft Office.

В качестве системы координат ГИС-проекта, принята международная прямоугольная система координат WGS-1984 UTM Zone 44N (Universal Transverse Mercator Zone 44, сфероид WGS 84).

В результате структуризации и систематизации выделены девять основных тематических блоков:

**Блок «гравиметрия».** По плотностным характеристикам участков земной коры, позволяет интерпретировать тектонические нарушения по изменению гравитационного поля земли.

**Блок «геология».** Содержит геолого-геофизические карты состава и строения земной коры, разрезы в растровом и векторном виде.

**Блок «геоморфология».** Блок включает геоморфологические сведения о форме рельефа, его внешнем облике, происхождении, развитии, динамики и закономерностях географического расположения. Блок представлен растровыми картами с профилями.

**Блок «гидрогеология».** Блок представлен гидрогеологическими картами с разрезами и скважинами.

**Блок «магнитометрия».** Позволяет интерпретировать разрывные нарушения по линейным аномалиям магнитного поля земли.

**Блок «сейсмология».** Блок содержит растровые карты с нанесенными векторными эпицентрами землетрясений с различными параметрами.

**Блок «спутниковые изображения».** Содержит разномасштабные космические снимки.

**Блок «тектоника».** Характеризует тектоническую обстановку района в параметрах палеотектоники, неотектоники, новейшей тектоники.

**Блок «топография».** Блок географических и геометрических элементов местности на основе съёмочных работ (наземных, с воздуха или из космоса) и создания на их основе топографических карт. Включает в себя растровые и векторные изображения рельефа местности.

К картам создавались метаданные и условные обозначения. Метаданные описывают параметры каждой карты, а именно:

— литературная характеристика источника и его название (отчет, монография и т.д.);

- название карты;
- номенклатура карты;
- тема исследований (геология, гидрогеология, топография и т.п.);
- масштаб карты;
- тип файла;
- код карты в базе данных.

Добавленные разрезы и профили отображаются с помощью гиперссылок, ведущих к месту хранения растрового изображения.

## СОДЕРЖАНИЕ ГИС-ПРОЕКТА

**Блок «гравиметрия».** В данный блок занесено 2 карты масштаба 1:1 000 000 по региональному участку; 8 карт 1:200 000, 12 карт 1:50 000 по площадному участку.

**Блок «геология».** Всего добавлено в региональный участок 5 карт 1:1 000 000, 9 карт 1:500 000; в площадной участок 10 карт 1:200 000, 1 карта 1:100 000, 32 карты 1:50 000 (рисунок 3); в локальный участок 2 карты 1:25 000.

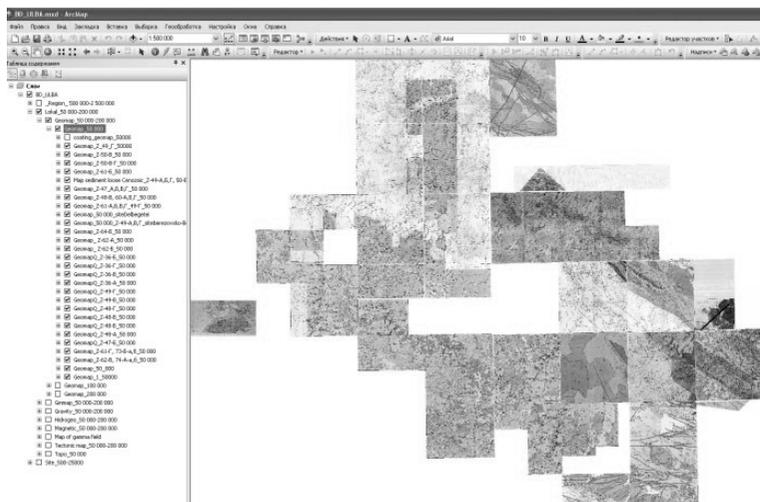


Рисунок 3. Геологические карты площадного участка масштаба 1:50 000

**Блок «геоморфология».** Площадной участок включает 1 карту масштаба 1:200 000, 2 карты 1:100 000, 26 карт 1:50 000.

**Блок «гидрогеология».** Блок представлен 4 картами 1:200 000; 1 картой 1:100 000; 15 картами 1:50 000 в площадном участке; 9 картами 1:25 000 в локальном участке. Собрана информация по урезам воды вдоль рек Иртыш и Ульба с карт масштабов 1:500 000; 1:50 000; 1:5 000.

**Блок «магнитометрия».** Содержит 8 карт 1:1 000 000 в региональном наборе; 5 карт 1:200 000; 1 карту 1:50 000 в площадном наборе и 3 карты 1:25 000 в локальном.

**Блок «сейсмология».** Блок представлен 8 сеймотектоническими картами 1:2 500 000, векторной картой эпицентров землетрясений с 1761-2013 г. (рисунок 4), 1 картой сейсмогенерирующих зон 1:1 000 000. Добавлена монография «Методологии разработки карт сейсмического районирования сейсмоопасных территорий Казахстана» Абаканова Т.Д. и др.

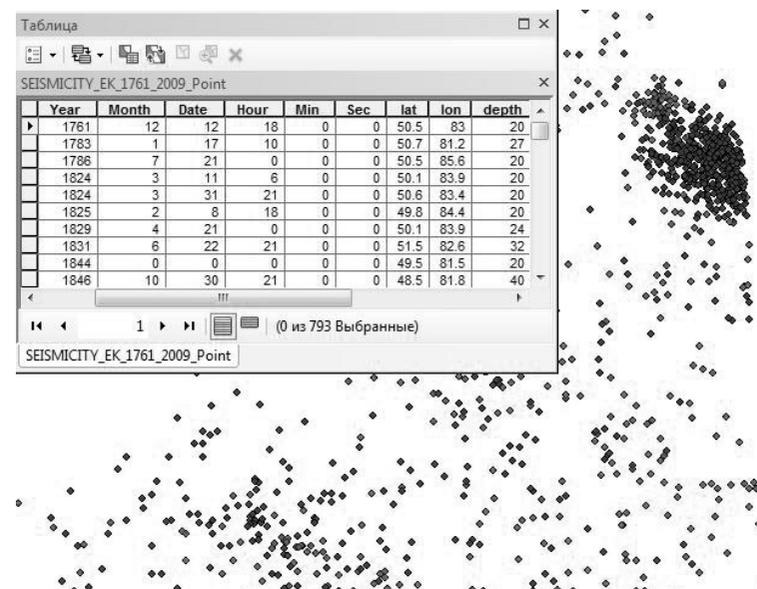


Рисунок 4. Векторное представление землетрясений с таблицей атрибутов

**Блок «спутниковые изображения».** Включает в себя космические снимки в количестве 14 растровых изображений по региональному участку.

**Блок «тектоника».** Информация представлена 1 картой 1:1 000 000 в региональном наборе; 1 картой 1:200 000, 1 картой 1:100 000, 4 картами 1:50 000 в площадном наборе.

**Блок «топография».** Региональный набор содержит 3 карты масштаба 1:1 000 000; 10 планшетов 1:500 000 в векторном виде; в площадном наборе 12 векторных планшетов 1:50 000 и локальный набор включает в себя 33 растровых планшета 1:5 000. Создана цифровая модель рельефа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя многочисленную различную информацию, был создан ГИС-проект для изучения активности тектонических разломов на Ульбинском участке в целях дальнейшего проектирования ответственных объектов.

ГИС-проект, содержит огромную коллекцию карт. Оцифрованы наиболее важная информация с карт, такая как разломы и сейсмическое районирование. Векторизованы топографические карты, на основе которых подготовлена цифровая модель рельефа с высоким разрешением.

Общее содержание базы данных следующее:

1. общий проект (в файле mxd), включая все данные;
2. отдельные файлы по каждому слою проекта;
3. метаданные с описанием названий файлов и содержимого;
4. легенды к картам;
5. полигональные покрытия карт.

В настоящее время ГИС-проект продолжает пополняться геологическими и геофизическими материалами, получено 70 карт различной тематики. В дальнейшем проект может быть использован широким кругом специалистов при проектировании гражданских и специализированных строительных объектов в сейсмоопасных районах ВКО.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абаканов Т.Д.* Методология разработки карт сейсмического районирования сейсмоопасных территорий Казахстана (на примере Восточно-Казахстанской области) / Т.Д. Абаканов, А.Н. Ли, А.Б. Садыкова, Н.П. Степаненко, Н.В. Силачева, Р.К. Садыров // - Алматы, 2013 г., 127 с.
2. СНиП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования». 2006, 46 с. // Приложение 3. Карта общего сейсмического районирования республики Казахстан (Институт сейсмологии, 2003).
3. *Яковенко, Ю.Ю.* Разработка ГИС-проекта СИП / Ю.Ю. Яковенко // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г. - Павлодар: ТОО «Дом печати. – 2010. – С. 373 – 385.
4. *Гаджимагомедова, М.Г.*, Создание пилотной геоинформационной системы для участка Акбота, потенциально пригодного для изоляции РАО/ М.Г. Гаджимагомедова, А.М. Яковенко // Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан, – 2014. – Вып. 1. – С. 86 – 90.
5. Сайт компании ESRI [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis10>, свободный. – Загл. с экрана.

### ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*Ермаков Е.Л., Тиванова О.В., Глуценко Д.В.*  
Институт ядерной физики, г. Алматы, РК

### ВВЕДЕНИЕ

В атомной энергетике для решения задач направленных на повышение уровня промышленной безопасности и продление срока службы трубопроводов и оборудования ядерных энергетических установок, существует необходимость внедрения новых методов и средств диагностики. Например, исследования [1] показали, что 6% отказов и нарушений в работе реактора ВВР-Ц за 40 лет эксплуатации приходится на неисправности трубопроводов и оборудования первого контура реактора, которые в процессе длительной эксплуатации подвергаются интенсивным циклическим и термомеханическим нагрузкам (пульсирующие перепады давления и температуры рабочей среды, вибрационные нагрузки). Под действием таких нагрузок возможно протекание необратимых деградационных изменений в виде снижения физико-механических свойств материала конструкции, что в свою очередь приводит к ограничению срока эксплуатации и возникновению аварийной ситуации. Не вызывает сомнения тот факт, что деградационные процессы на начальных стадиях протекают в ограниченных зонах и проявляются в виде локального повышения уровня напряжений, в месте концентрации которых в последствии образуются и развиваются дефекты. Поэтому безопасный ресурс элементов конструкций и оборудования определяется ресурсом этих локальных зон, вероятность возникновения которых выше в изначально напряженных участках конструкции - сварных швах, на изгибно-напряженных участках, а также в местах расположения допустимых монтажных дефектов.

При обследовании объектов ядерно-энергетического комплекса, применяют традиционные методы неразрушающего контроля, ориентированные в основном на поиск несплошностей в сварных соединениях, основном металле и наплавках. Оценить уровни локальных напряжений возможно либо с использованием расчетных моделей [2], либо по результатам разрушающего контроля, что требует вырезки образцов непосредственно из металлоконструкций.

Современные методы контроля, применяемые для поиска и оценки напряженно-деформированного состояния, во многом определяются средствами неразрушающего контроля и областью их применения. В большинстве случаев приборы и методики, позволяющие проводить поиск и обнаружение зон, содержащих технологические и конструктивные концентраторы механических напряжений, а также оценивать уровни этих напряжений нашли применение в нефтегазовом секторе на объектах, выполненных из ферромагнитных материалов [3]. Для контроля ферромагнитных конструкционных сплавов и сталей, используемых в атомной энергетике эти методы еще не нашли широкого применения в силу недостаточного количества накопленных экспериментальных данных [4, 5], позволяющих адаптировать их к широкому классу материалов.

В настоящей работе приведены результаты исследования по диагностированию и оценки напряженного состояния сварных соединений и основного металла трубопроводов первого контура и теплообменников реактора ВВР-К с применением магнито-анизотропного сканер-дефектоскопа.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ АУСТЕНИТНЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.

В качестве объектов для исследования были выбраны теплообменники и трубопроводы первого контура системы охлаждения реактора ВВР-К, находящиеся в эксплуатации с 1967 г. Трубопроводы Ø219x12 мм и теплообменники изготовлены из аустенитной нержавеющей стали 1X18H9T, трубопроводы Ø371x10 мм - из алюминиевого сплава САВ-1. Стенки трубопроводов в процессе работы подвергаются циклическому воздействию температур 10-55°C, давления порядка 1,2-3,5 кг/см<sup>2</sup> от циркулирующей обессоленной воды, а также радиационному воздействию. Для исследования были выбраны потенциально опасные участки трубопроводов в местах изгиба, а также места стыковки нескольких сварных швов. Оценка напряженного состояния материала трубопровода проводили в зоне сварного шва и основного металла с использованием сканер-дефектоскопа магнитоанизотропного «Stressvision 2», с шагом сканирования 40 мм. Измерение с применением магнито-анизотропного дефектоскопа позволило получить распределение параметров напряженного состояния поверхности исследованных участков, то есть в основном металле, сварном шве и околосшовной зоне. В качестве итоговых данных для анализа, получаемых при обработке результатов контроля при помощи программного обеспечения «StressVision-2», использовали следующие характеристики: карты разности главных механических напряжений (РГМН), градиентов РГМН, карты распределения коэффициента концентрации механических напряжений (КМН) и коэффициента неоднородности механических напряжений (КНН), по которым определяли зоны, обозначенные набором изостресс<sup>1</sup> с изменяющимися значениями параметров напряженного состояния.

При определении допустимых значений градиентов РГМН, КМН и КНН исходили из условий, что необратимые изменения в деформируемых металлических материалах начинаются после достижения предела текучести, а разрушение возможно при наличии достаточной местной концентрации механических напряжений и градиента разности главных механических напряжений (РГМН), таким образом, процесс разрушения упруго пластического твердого тела начинается если не выполняется условие (1) [6].

$$\left. \begin{array}{l} (\sigma_1 - \sigma_3) \leq \sigma_T \\ \text{КМН} \approx 1 \\ \text{КНН} \approx 1 \\ G \approx 0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

<sup>1</sup>Изостресса – линии на исследуемой поверхности изделия, в любой точке которых значение параметров напряженного состояния имеет постоянное значение [8].

где  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  – разность главных механических напряжений (РГМН) - параметр, характеризующий диапазон верхней и нижней границ нормальных напряжений, действующих по площадкам (сечениям), где отсутствуют касательные напряжения;

$\sigma_T$  – напряжение течения;

G – градиент РГМН, характеризующий скорость убывания напряжений по мере удаления от места концентрации напряжений по заданному направлению;

КМН – коэффициент концентрации механических напряжений, характеризует отношение напряжения в заданной точке конструкции к значениям напряжения в этой же точке при отсутствии местной концентрации напряжений.

КНН – коэффициент неоднородности механических напряжений.

Известно, что процесс разрушения многостадийный, и каждой стадии соответствует определенный набор значений КМН, КНН и градиентов, которые найдены для углеродистых ферромагнитных сталей [7]. Для аустенитных и алюминиевых сплавов необходимо экспериментальное определение критических значений параметров в аномальных напряженных зонах материала конструкции, при достижении которых принимается решение о возможной дальнейшей эксплуатации.

Нормы допустимых значений параметров концентраторов напряжений для аустенитной нержавеющей стали и алюминиевого сплава САВ-1 определяли по данным, полученным из модельных экспериментов по определению характеристик напряженного состояния деформированных на загиб металлических пластин. Для этого на изготовленные из аустенитной стали типа 12-18 и алюминия толщиной 5 мм пластины наносили сетку с размером ячеек 40x40 мм. Затем пластины деформировали пошагово на различный угол загиба, после каждого этапа нагружения проводили сканирование деформированных пластин сканер-дефектоскопом «Stressvision-2». Для уменьшения влияния краевого эффекта, искажающего дейст-

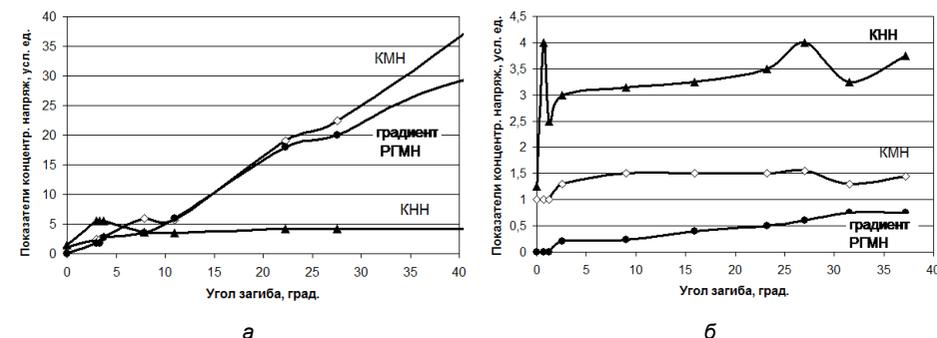


Рисунок 1. Зависимость показателей КМН, КНН и градиента РГМН в зоне концентрации механических напряжений от угла загиба алюминиевой (а) и стальной пластины (б)

вительную картину распределения напряжений, сканируемая поверхность располагалась на расстоянии 40 мм от краев пластины. По каждому циклу измерений строили карты распределения разности главных механических напряжений и их градиента, КМН и КНН, по которым находили значения параметров концентраторов напряжений в месте изгиба. Установлено (см. рисунок 1), что в случае воз-

действия изгибающих нагрузок для алюминия чувствительными являются характеристики КМН и градиента РГМН, в то время как для аустенитной нержавеющей стали - КНН. Сравнительный анализ данных по зависимостям значений параметров напряженного состояния от стадии разрушения, полученных разработчиками сканер-дефектоскопа «Stressvision-2» для углеродистых сталей [7] и приведенных на рисунке 1, позволил определить для алюминия и нержавеющей стали условные критические значения параметров напряженного состояния, при выявлении которых необходима дополнительная диагностика с использованием неразрушающих методов контроля.

В дальнейшем при диагностировании трубопроводов и узлов первого контура реактора ВВР-К особое внимание уделяли участкам, параметры напряженного состояния которых превышали следующие экспериментально-полученные условные критические значения, приведенные в таблице 1.

**Таблица 1. Условные критические значения параметров напряженного состояния для алюминия и нержавеющей стали**

	Алюминий и сплавы на его основе	Нержавеющая аустенитная сталь
КМН	3	1,5
КНН	4	3
градиент РГМН <sup>2</sup>	5	0,4

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ И ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПЕРВОГО КОНТУРА РЕАКТОРА ВВР-К

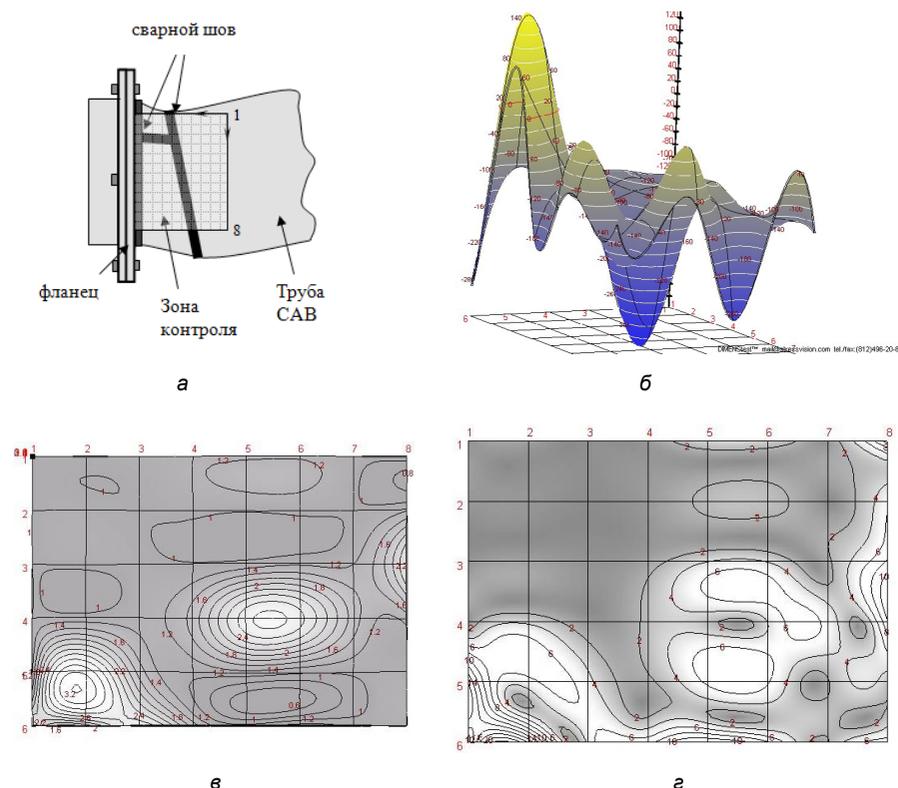
Места изгибов, сварные швы трубопроводов и области, прилегающие к ним исследовали с помощью магнитоанізотропного сканер-дефектоскопа «Stressvision-2». По результатам измерений строили карты распределения концентраторов механических напряжений, коэффициентов неоднородности напряжений и градиентов механических напряжений, по которым определяли условно опасные участки.

Полученные данные по контролю нагнетательного и всасывающего трубопроводов первого контура, изготовленных из алюминиевого сплава САВ-1, показали, что наиболее высокие концентрации напряжений возникают в зоне фланцевых соединений, близко расположенных к сварным швам. На рисунке 2 представлены схема сканированного участка трубопровода и карты распределения РГМН, КМН и градиентов РГМН на которых видно, что в околошовной зоне трубопровода (между тройным стыком шва и фланцевым соединением) в координатах точки {1,5; 6,5} находится концентратор напряжения, в области которого знаки изостресс меняются с отрицательных на положительные, что указывает на вероятность возникновения пластических деформаций. В зоне сварного шва в координатах точки {5,5;4} обнаружена зона концентрации напряжений с КМН=2,6 и градиентами РГМН=6, кото-

<sup>2</sup>В методике [8] введены для оценки три категории градиентов РГМН: низкий – 0-2, средний 2-4, высокий >4.

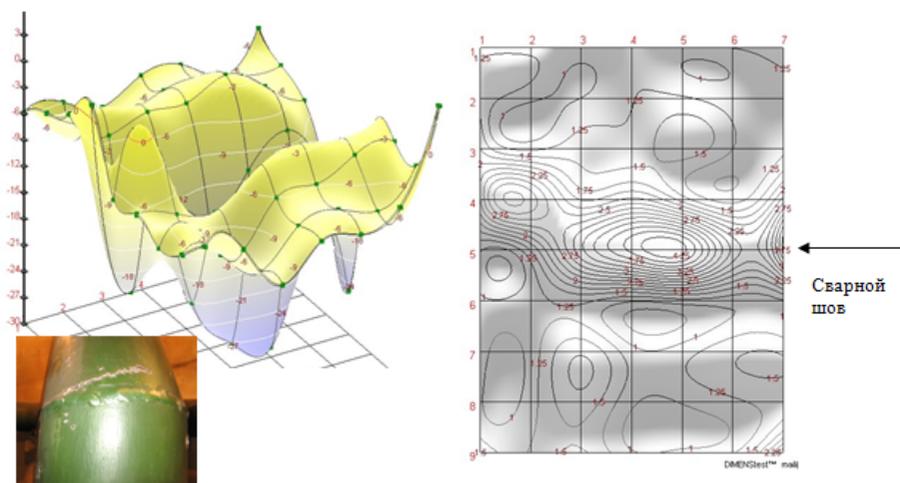
рые близки к условно критическим, при этом основной поток изостресс образует симметричные концентрические эллипсы, в пределах которых следует ожидать появления и развитие дефекта округлой формы.

Сканирование сварных швов конструкций, выполненных из аустенитной стали, позволило обнаружить зону с повышенной концентрацией напряжений в области тройного стыка шва теплообменника, дальнейший анализ распределения градиентов разности главных механических напряжений показал, что дефект является неопасным. При исследовании было обращено особое внимание участкам стальных трубопроводов, подвергающихся дополнительно воздействию вибрации. Для этого был выбран сварной шов в присоединяющем к циркуляционному насосу трубопроводе в месте радиусного перехода, в котором возникают максимальные напряжения, в основном от изгиба. На рисунке 3 приведены в виде карт результаты сканирования, видно, что в области сварного шва (горизонтальная линия 5) обнаружено несколько зон концентрации напряжений.



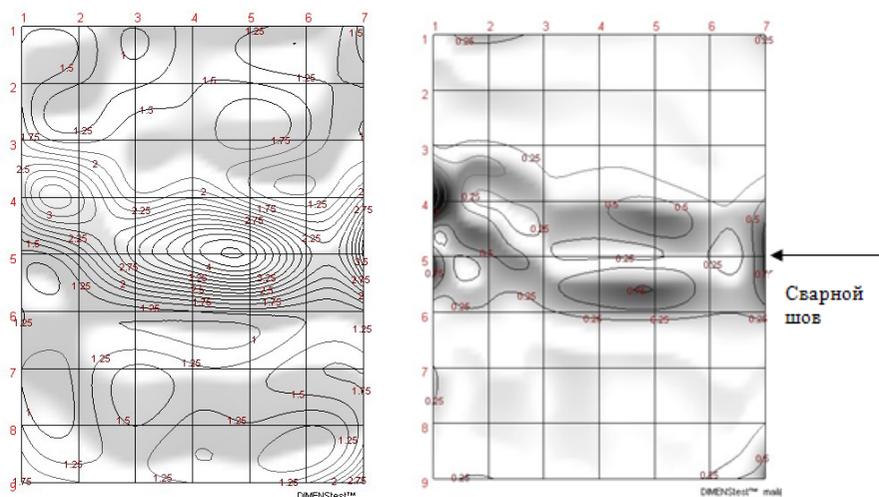
**Рисунок 2. Схема контроля (а) и карты распределения разности главных механических напряжений (б), коэффициента концентрации механических напряжений (в), градиентов РГМН (г) в материале САВ-1 трубопровода первого контура реактора ВВР-К в области фланцевого и сварного соединений**

<sup>3</sup>Первой указывается координата по горизонтали, второй - по вертикали.



а

б



в

г

Рисунок 3. Карты распределения разности главных механических напряжений (а), коэффициента концентрации механических напряжений (б), коэффициента неоднородности механических напряжений (в) и градиентов РГМН (г) в материале 1X18Н9Т трубопровода первого контура ВВР-К в области сварного соединения

На объемной карте РГМН (см. рисунок 3а) область минимальных значений напряжений соответствует сварному соединению, экстремумы – зонам концентрации напряжений. В окрестностях точек  $\{5;4,5\}$  и  $\{5,5; 1,5\}$  максимальные значения КМН и КНН превышают принятые критические (см. таблицу 1), на картах распределения коэффициентов концентрации и неоднородности механических напряжений

(см. рисунок 3б и 3в) основные потоки сгущения изостресс образуют концентрические эллипсы, ориентированные вдоль оси шва, такая картина характерна для дефектов округлой формы. Кроме того по границам областей местной концентрации скорость изменения РГМН (см. рисунок 3г) близка к критической. Так как обследование участков первого контура реактора ВВР-К с применением сканер-дефектоскопа «Stressvision-2» было проведено впервые, предложенные критические значения параметров напряженного состояния требуют дополнительного экспериментального уточнения. На основе полученных результатов предложено провести дополнительное исследование зон повышенной концентрации напряжений другими методами неразрушающего контроля.

Ранее радиографическим методом контроля было обнаружено наличие непровара в корне шва глубиной до 3 мм и шириной 1-2 мм, полученного в результате некачественной сварки элементов трубопровода при монтаже, также дефекты различного типа были найдены в других швах (см. рисунок 4). По результатам контроля рекомендовано дальнейшее наблюдение за этими участками и проведение расчетной оценки развития дефектов при циклическом нагружении в процессе «пусков-остановок» реактора ВВР-К.

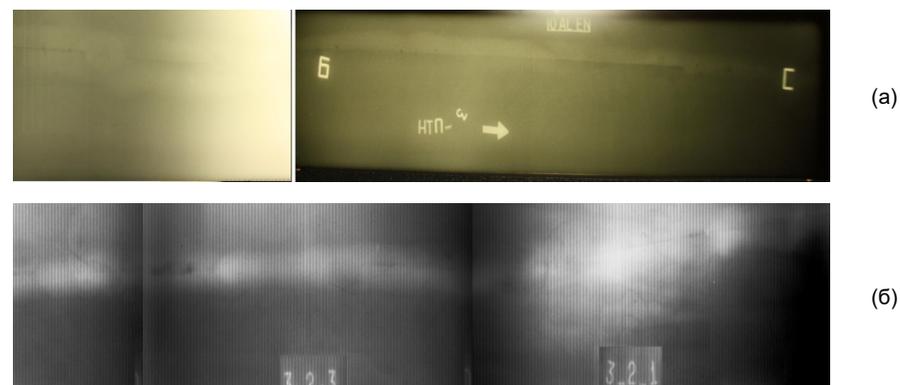


Рисунок 4. Радиография колена трубы САВ (а) и колена 3, шов 2 трубы

Необходимо отметить, что методология применения прибора «Stressvision-2» для диагностирования ферромагнитных металлических конструкций находится на стадии тестирования и полученные данные требуют дальнейшего обсуждения и сравнения с результатами апробированных методов неразрушающего контроля.

## ВЫВОДЫ

В настоящей работе приведены результаты исследования напряженного состояния сварных соединений трубопроводов и теплообменников основного контура реактора ВВР-К, которые находятся в эксплуатации в течение 40 лет. Новое, нетрадиционное использование магнитоанізотропного сканер-дефектоскопа «Stressvision-2», дало возможность обнаружения зон с повышенной концентрацией механических напряжений при обследовании сварных соединений в металлических конструкциях

основного контура реактора ВВР-К, выполненных из аустенитной стали 1X18H9T и алюминиевого сплава САВ-1. Несмотря на то, что требуется доработка методики оценки критериев напряженно-деформированного состояния, полученные результаты позволяют несколько сократить объем контроля другими неразрушающими методами (RT, UT) и при регулярном мониторинге уделить особое внимание поведению отдельных участков, узлов оборудования и трубопроводов АЭУ, в которых наблюдаются повышенные уровни концентрации напряжений.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кочнов О.Ю., Лукин Н.Д.* Реактор ВВР-Ц: опыт эксплуатации и перспективы развития. // Ядерная и радиационная безопасность № 1, 2008 г. -С. 18-25.
2. Нормы расчетов на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПН АЭ Г-7-002-86) / Госатомэнергонадзор ССР. –М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525 с.
3. *Кузеев И.Р., Баширов М.Г.* Электромагнитная диагностика оборудования нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. -294 с.
4. *Жуков С.В., Копица Н.Н.* Исследование полей механических напряжений в металлических конструкциях приборами «Комплекс-2»// Сб. научн. Трудов отд-я «Специальные проблемы транспорта» Росс. Академии транспорта, №3, 1998. - С. 214 – 222.
5. *Гурин С.А., Жуков В.С., Жуков С.В., Копица Н.Н.* Сканеры-дефектоскопы серии «Комплекс-2»: новые модели. // Журнал «В мире НК», №2(24), 2004 г. - С. 31-33.
6. Дефект - условие разрушения ? - Трубопроводный транспорт (теория и практика), №1 (3), 2006. - С. 84-87.
7. *Жуков С.В.* К вопросу о необходимости измерения напряжений. Электронное периодическое издание «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» <http://www.td.ru/content/view/68/20/>. -2007.
8. МДС 53-2.2004. Методическая документация в строительстве. Диагностирование стальных конструкций. ООО «Институт проблем технической диагностики и неразрушающих методов испытаний «ДИМЕНСтест». – 2005. -17 с.
9. *Махутов Н.А.* Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. –М.: Машиностроение, 1981. –272 с.
10. Заключение о возможности дальнейшей эксплуатации системы трубопроводов из стали 1X18H9T первого контура реактора ВВР-К. № 23.1684 3. -1983. -16 с.
11. *Пахомов В.А., Саралов О.В.* Оценка ресурса трубопроводов ЯЭУ при ограничении перемещений на опорах с использованием критериев малоциклового усталости. Проблемы прочности и пластичности. Вып. 67. 2005. -С. 37-45.

#### МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРИУМА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

УДК 621.039.53.536

*Гречаник А.Д., Кукушкин И.М., Бакланов В.В.*  
Институт атомной энергии НЯЦ, г. Курчатов, РК

Представлены результаты металлографических исследований кориума, полученного при проведении внутриреакторных экспериментов по моделированию тяжелой аварии реактора на быстрых нейтронах с плавлением активной зоны. Полученные данные позволили сделать выводы о структуре и характере распределения металлической и керамической составляющих кориума из исследованных экспериментальных установок.

#### ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение безопасности эксплуатации ядерных энергетических установок является одной из важнейших проблем атомной энергетики. Наиболее информативные данные о возможных последствиях тяжелых аварий энергетических реакторов различных типов, связанных с длительным прекращением охлаждения активной зоны или несанкционированным увеличением реактивности с последующим плавлением активной зоны и стеканием расплава в нижний объем корпуса или шахту реактора, можно получить путем проведения экспериментальных исследований. Такие исследования позволяют уточнить или разработать расчетные методики, предназначенные для определения параметров тяжелых аварий при обосновании безопасности реакторных установок АЭС.

В рамках программы по исследованию тяжелых аварий энергетических реакторов с плавлением активной зоны в ИАЭ НЯЦ РК была разработана и изготовлена серия экспериментальных устройств и проведены их испытания на реакторе ИГР в целях изучения закономерностей плавления и перемещения расплава топлива ТВС, его взаимодействия с элементами конструкционных материалов и теплоносителем.

Основные экспериментальные данные, позволяющие определить последовательность событий, протекающих в устройствах в процессе испытаний и оценить параметры эксперимента, были получены в результате анализа показаний средств измерений, при проведении расчетных оценок, а также по результатам пред- и послереакторных неразрушающих исследований [1-4].

В данной работе приведены основные результаты металлографических исследований материалов затвердевших расплавов из экспериментальных устройств FD, ID, SFD прошедших испытания на реакторе ИГР.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВНУТРИРЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Для проведения испытаний на реакторе ИГР с целью изучения закономерностей плавления, перемещения расплава топлива ТВС, его взаимодействия с элементами конструктивных материалов и теплоносителем была разработана и изготовлена серия экспериментальных устройств (FD, ID, SFD) и проведены их испытания. Несмотря на конструктивные отличия данных внутриреакторных экспериментальных устройств, их схемы имеют общие основные элементы (рисунок 1), а именно:

- чехол ТВС с размещенной внутри него топливной сборкой, состоящей из заданного числа модельных твэлов, расплавляемой в процессе пуска реактора ИГР для получения смеси расплава двуокиси урана (топлива) и нержавеющей стали (оболочек твэлов);
- внутренняя труба (или ее имитатор), заполненная или незаполненная натрием, стенка которой проплавляется смесью двуокиси урана и нержавеющей стали, внутренняя труба служит для направленного перемещения расплава под действием перепадов давления и силы тяжести;
- ловушка расплава, обеспечивающая прием расплава, переместившегося в ходе эксперимента из полости чехла ТВС и обеспечивающая условия безопасной эксплуатации силового корпуса;
- силовой корпус, обеспечивающий условия безопасного проведения эксперимента;
- средства измерения параметров эксперимента.

В ЭУ FD (fuel disruption – разрушение топлива) исследовались процессы перемещения расплава по внутренней трубе без натрия. В ЭУ ID (integral demonstration – интегральный демонстрационный) исследовались процессы перемещения расплава по внутренней трубе, заполненной жидким натрием. В ЭУ SFD (short FAIDUS demonstration – короткий демонстрационный) исследовались процессы перемещения расплава вверх по внутренней трубе, заполненной жидким натрием.

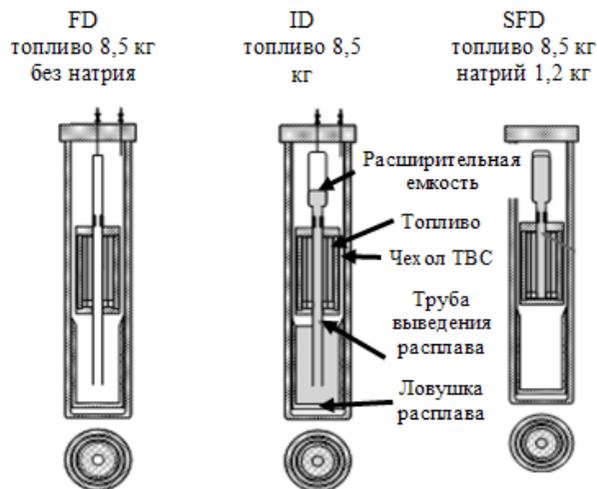


Рисунок 1. Схемы внутриреакторных экспериментальных устройств

## МЕТОДИКА МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Металлографические исследования были проведены на образцах затвердевшего расплава, извлеченных из ловушек внутриреакторных экспериментальных устройств. Образцы для металлографических исследований сначала шлифовали на наждачной бумаге зернистостью от 220 до 2000, а затем полировали с применением алмазных паст, размер абразивных частиц в которых составлял от 10 до 1 мкм. В качестве охлаждающей жидкости в процессе шлифования использовали воду.

Структуру образцов исследовали с помощью оптического исследовательского металлографического микроскопа OLYMPUS BX41. Фотографии микроструктуры, были сделаны при увеличениях x50, x200, x400 в светлом поле.

Для выявления структуры преимущественно металлических образцов они подвергались химическому травлению реактивом «царская водка» в течение 10-30 с.

Качественными признаками идентификации объектов были цвет, форма, размеры образовавшихся фаз [5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОСЛЕЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРИУМА ИЗ УСТРОЙСТВА FD

Для исследования состава и структуры слитка из ловушки расплава ЭУ выполнялся ее диаметальный разрез. При анализе поверхности разреза было выявлено, что материал слитка может быть условно разделен на преимущественно керамический и преимущественно металлический (рисунок 2). С одной из половин разреза ловушки был произведен отбор образцов посредством высверливания керн в керамической части слитка и вырезкой абразивным инструментом в стальной части.

Металлографические исследования образцов преимущественно керамического материала показали, что этот материал имеет характерную микроструктуру, состо-

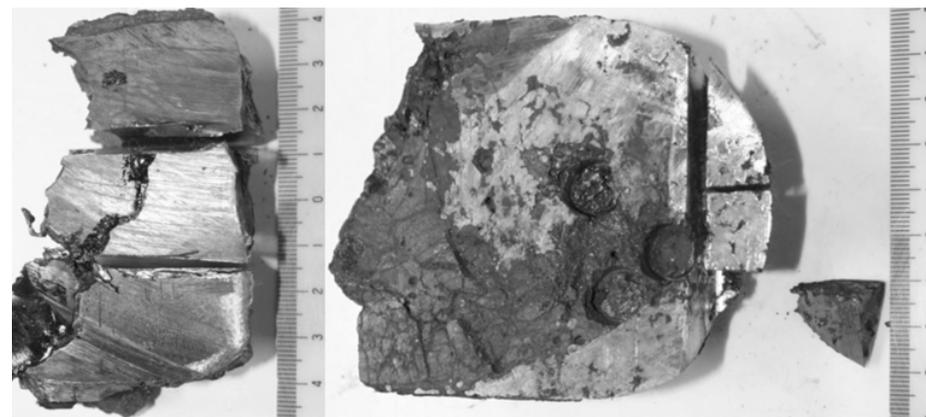


Рисунок 2. Внешний вид слитка из ловушки устройства FD, после извлечения из него образцов для исследований

ящую из основного матричного материала диоксида урана с включениями металлической фазы округлой формы (рисунок 3). Размер и плотность металлических включений варьируется для различных областей слитка, но, в целом, двухфазная микроструктура характерна для всех образцов керамического материала. Результаты металлографических исследований образцов затвердевшего расплава, содержащих крупные металлические включения, показали отсутствие видимого промежуточного слоя на границах раздела металлической и керамической структурных составляющих слитка.

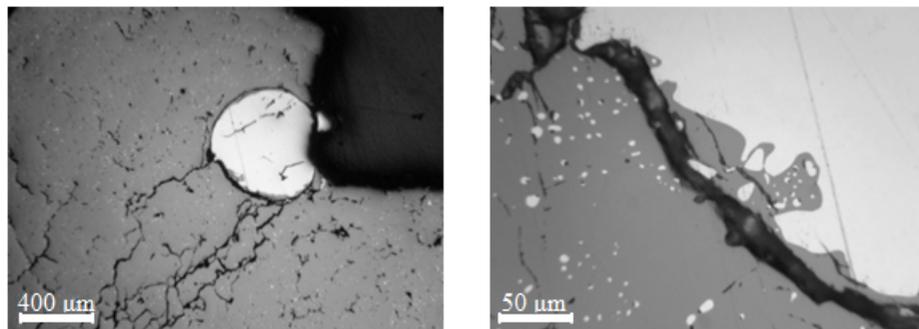


Рисунок 3. Характерная микроструктура образцов керамического материала из ловушки ЭУ FD

Результаты рентгеновского фазового анализа выявили, что основной (~99%) структурной составляющей керамической части расплава в ловушке является двуокись урана  $UO_2$  с периодом ГЦК решетки  $a = 0,5470 \pm 0,0002$  нм, второй структурной составляющей является  $\alpha\text{-Fe}(\text{Ni}, \text{Cr}, \dots)$ , содержание которой находится на уровне от 1 до 2%.

При анализе структуры образца со дна ловушки ЭУ FD, представляющего собой затвердевшую смесь керамики и стали (рисунок 4) установлено следующее:

- структура керамической составляющей аналогична описанной выше, то есть встречаются области, как содержащие, так и не содержащие мелкие металлические включения;
- в некоторых областях затвердевшего расплава металла встречались включения диоксида урана разнообразных форм и размеров;
- после травления проявилась структура металлической составляющей характерная для отливок [5]. Кристаллы ориентированы определенным образом, но ориентация различна для различных областей образца, что, скорее всего, связано с различным направлением теплопередачи этих областей;
- на отдельных металлических областях после травления выявилась структура аустенита.

При анализе структуры образцов с верхней части ловушки ЭУ FD, представляющих собой застывший расплав металла, были получены результаты аналогичные описанным выше для металлических областей со дна ловушки, но при этом структура металла с верхней части ловушки имеет более упорядоченный вид: форма и размер кристаллов в различных областях образца не имеют кардинальных различий.

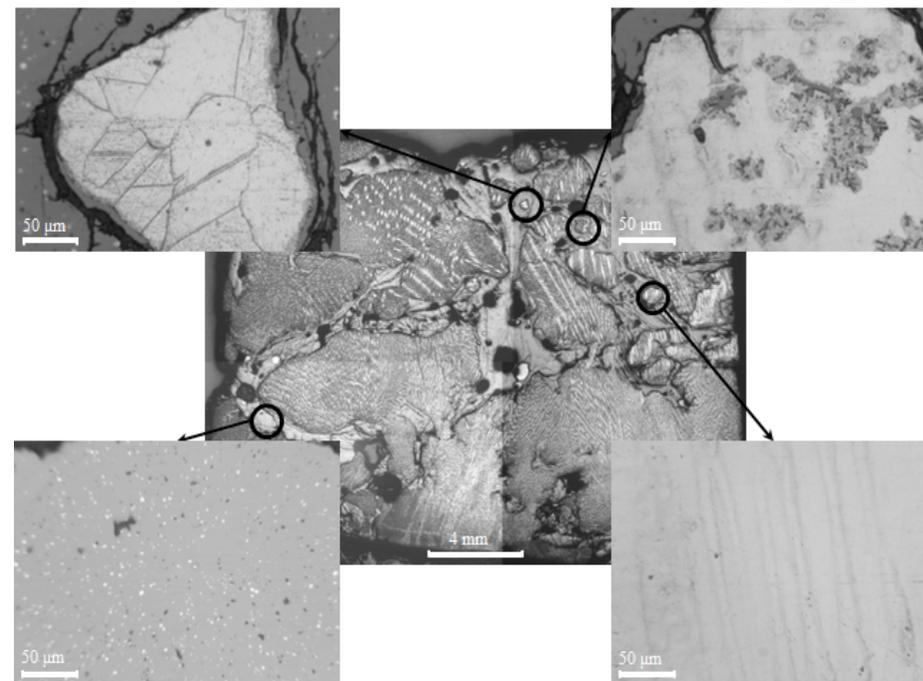


Рисунок 4. Микроструктуры застывшей смеси керамической и металлической составляющих слитка из нижней части ловушки устройства FD после травления

#### ПОСЛЕЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРИУМА ИЗ УСТРОЙСТВА ID-2

В ловушке расплава ЭУ ID-2 весь кориум находился в виде фрагментированного материала (рисунок 5). После извлечения кориума из ловушки была произведена его промывка, сушка и фракционирование.

При проведении фракционирования фрагментированного материала из ловушки расплава ЭУ ID-2 были получены 6 характерных фракций для каждого из условно выделенных слоев (таблица 1).

Таблица 1. Результаты гранулометрического анализа материала из ловушки ЭУ ID-2

Обозначение фракции	Размер частиц, мкм	Масса, г		
		верхний слой	средний слой	нижний слой
F10	8000 – 2515	39,660	296,72	351,625
F11	2515 – 705	39,005	206,96	325,165
F12	705 – 460	7,030	42,61	63,330
F13	460 – 340	6,225	27,53	36,675

F14	340 – 180	5,880	27,95	36,145
F15	менее 180	9,880	93,81	81,815
общая		107,680	695,58	894,76

Некоторые фрагменты фотографий материала, сделанных для его визуального анализа, представлены на рисунках 6 и 7.



Рисунок 5. Внешний вид разреза ловушки устройства ID-2 и извлеченного из нее фрагментированного материала



Рисунок 6. Характерные формы керамических частиц из ловушки ЭУ ID-2

Рассмотрение формы частиц всех размеров позволило сделать следующие выводы:

- все частицы можно поделить на преимущественно металлические и керамические;
- керамические частицы разделяются на осколки таблеток двуоксида урана и частицы затвердевшего расплава двуоксида урана с вкраплениями металла;
- поверхность осколков таблеток более гладкая, однородная. поверхность частиц затвердевшего расплава имеет неправильные формы, более развитая. Рельеф поверхности керамических частиц определяется в основном расположением и массивностью металлических вкраплений. Судя по форме поверхнос-

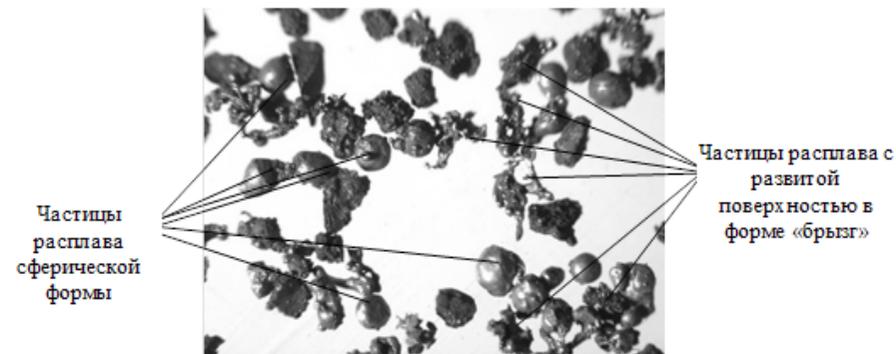


Рисунок 7. Характерные формы металлических частиц из ловушки ЭУ ID-2

ти некоторых частиц керамического расплава, можно предположить, что они образовались в результате разрушения пористых частиц большего размера; — металлические частицы имеют как глобулярную форму с гладкой поверхностью, так и разветвленную форму «брызг». Объемное соотношение между этими основными формами примерно одинаковое и сохраняется во всех фракциях.

На следующем этапе работ для выяснения структуры фрагментированного материала были изготовлены металлографические шлифы поперечных срезов отдельных частиц из крупных фракций среднего и нижнего слоев фрагментированного материала.

Анализ структур фрагментов, представляющих собой нерасплавленные топливные таблетки (рисунок 8), позволил сделать следующие выводы:

- на оси всех топливных таблеток присутствуют цилиндрические пустоты. Радиальные размеры этих пустот различаются в образцах;
- между поверхностью таблетки и ее внутренней полостью присутствуют зоны пористой структуры, в которых поры различных размеров располагаются в теле зерен матрицы диоксида урана;
- от центра таблетки к ее поверхности идут большие радиально направленные трещины, изредка эти трещины заполнены металлической фазой;
- крупные металлические включения размером до 0,5 мм обнаруживаются в основном в периферийных областях, в области центральной полости, а также в крупных порах и трещинах в структуре таблеток;
- мелкие металлические включения размером около 2-5 мкм, равномерно распределенные в матрице керамического материала, расположены в основном в областях, выходящих за исходное сечение таблетки, либо в областях, прилегающих к внутренней полости.

Анализ структуры фрагментов застывшего расплава позволил установить, что в образцах матричная структура материала имеет две основные разновидности:

- 1) однофазная мелко- и крупнозернистая структура диоксида урана, содержащая и не содержащая поры и трещины, иногда заполненные включениями металлической фазы;

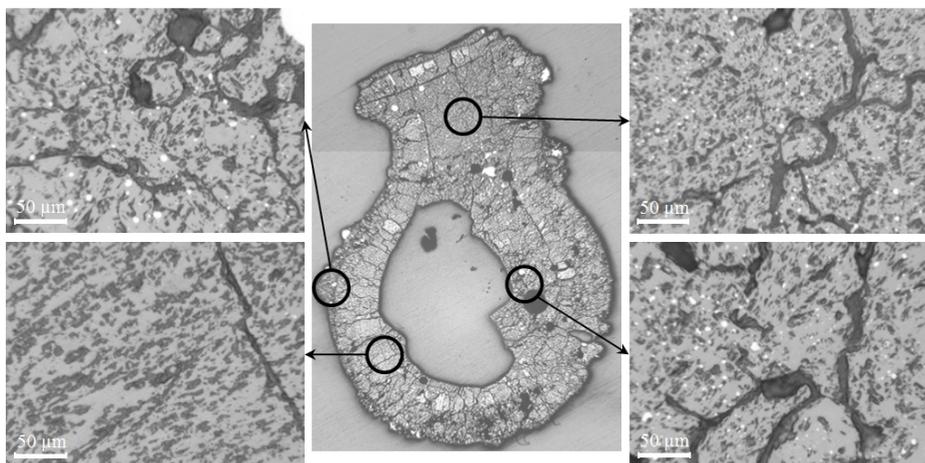


Рисунок 8. Характерная микроструктура образцов нерасплавленных топливных таблеток из ловушки устройства ID-2

2) двухфазная структура, в которой мелкие металлические включения размером от 2 до 5 мкм равномерно распределены в матрице керамического материала.

Взаимное расположение материала с этими структурами весьма разнообразно как в пределах каждой из частиц, так и между отдельными частицами.

#### ПОСЛЕЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРИУМА ИЗ УСТРОЙСТВА SFD

Для исследований был отобран материал из расширительной трубы ЭУ, который, как и в случае ЭУ ID-2, был фрагментирован.

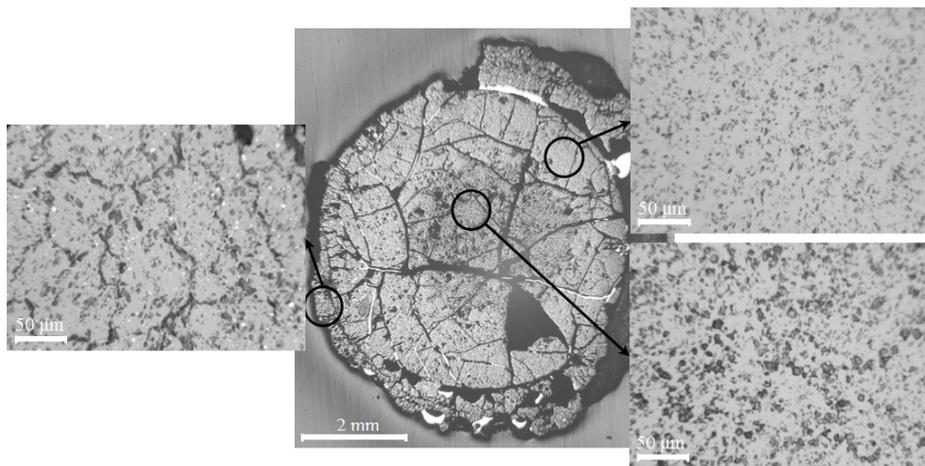


Рисунок 9. Характерная микроструктура образцов нерасплавленных топливных таблеток из расширительной трубы устройства SFD

При проведении гранулометрического анализа фрагментированного материала из расширительной трубы ЭУ SFD были выделены 6 характерных фракций для каждой из двух половин этой трубы, полученных после ее разрезания.

Рассмотрение формы частиц всех размеров позволило сделать выводы аналогичные выводам, полученным при исследовании материала из ловушки устройства ID-2.

На следующем этапе работ для выяснения структуры фрагментированного материала были изготовлены металлографические шлифы поперечных срезов отдельных частиц из крупных фракций.

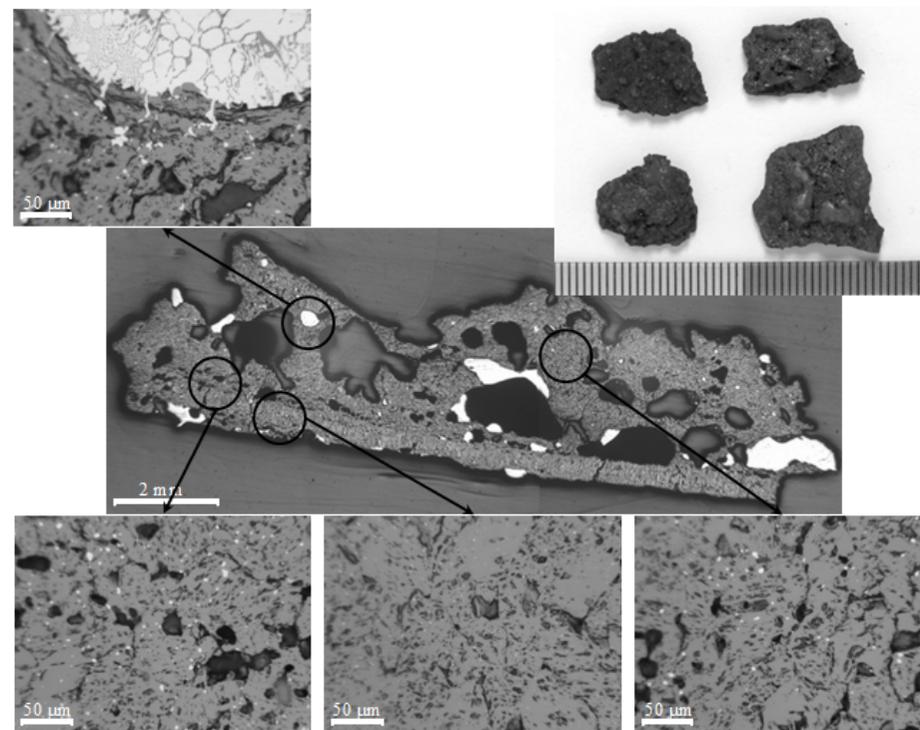


Рисунок 10. Внешний вид и характерная микроструктура плоских фрагментов затвердевшего расплава из расширительной трубы устройства SFD

Анализ структур нерасплавленных топливных таблеток (рисунок 9) позволил сделать следующие выводы:

- в центральных областях шлифов нерасплавленных топливных таблеток имеются крупные трещины, иногда заполненные металлической фазой, на периферии – количество трещин больше, но размер их меньше;
- в центральных областях шлифов нерасплавленных топливных таблеток встречаются круглые скопления пор;
- мелкие металлические включения отсутствуют в центральных областях шли-

- фов нерасплавленных топливных таблеток, но они присутствуют в областях, выходящих за исходное сечение таблетки;
- крупные металлические включения размером до 0,5 мм обнаруживаются в основном в крупных порах и трещинах периферийных областей шлифов.

Анализ структуры фрагментов керамического расплава позволил установить, что их структура аналогична описанным выше структурам керамического расплава из ловушек ЭУ FD, ID-1, ID-2.

Структура плоских фрагментов затвердевшего расплава (рисунок 10), образовавшихся, по всей видимости, у внутренней поверхности расширительной трубы, отличается тем, что:

- структура образцов в той части, которая прилегает к плоской поверхности, более плотная, в противоположной части встречается большое количество пор и трещин. Между этими частями проходит граница, представляющая собой скопление пор;
- в той части образцов, которая прилегает к плоской поверхности, размер и количество мелких металлических включений меньше, чем в противоположной, либо мелкие металлические включения вовсе отсутствуют;
- около некоторых крупных металлических включений наблюдается расслоение матрицы, а также диффузионные процессы.

### ВЫВОДЫ

В результате исследований материалов после разделки экспериментальных устройств FD, ID, SFD были получены данные о характере распределения, структуре и форме затвердевших компонентов расплава топливных и конструкционных материалов, которые позволили сделать следующие заключения:

- материал в ловушке ЭУ FD, в котором исследовались процессы перемещения расплава по внутренней трубе без натрия, представлял собой слиток затвердевшего расплава;
- материал в ловушках ЭУ ID и SFD, в которых исследовались процессы перемещения расплава по внутренней трубе заполненной жидким натрием, был фрагментирован. Характер распределения частиц затвердевшего расплава по размерам и форма отдельных частиц из этих экспериментальных устройств указывают на то, что фрагментация расплава и затвердевание фрагментов произошли в процессе взаимодействия с жидким натрием;
- как фрагментированный материал, так и материал слитка можно поделить на преимущественно керамический и преимущественно металлический;
- структура металлического материала характерна для отливок: кристаллы ориентированы определенным образом, но ориентация различна для различных областей образца, что, скорее всего, связано с различным направлением теплоотдачи из этих областей. В некоторых областях металлической составляющей встречались включения  $UO_2$  разнообразных форм и размеров;
- структура преимущественно керамического материала делится на однофазную структуру диоксида урана и двухфазную структуру, в которой мелкие округлые металлические включения размером около 2-5 мкм равномерно распределены в матрице  $UO_2$ . Взаимное расположение материала с этими струк-

турами весьма разнообразно как в пределах каждого образца, так и между отдельными образцами.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ результатов эксперимента WF, отчет о НИР по теме «Исследования процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны», ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК. Инв.№1982, Курчатова – 2006 г.
2. Анализ результатов эксперимента FD, отчет о НИР по теме «Исследования процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны», ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК, инв.№2001, Курчатова – 2006 г.
3. Анализ результатов эксперимента ID-1, отчет о НИР по теме «Исследования процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны», ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК. Инв.№1999, Курчатова – 2006 г.
4. Анализ результатов эксперимента ID-2, отчет о НИР по теме «Исследования процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны», ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК, инв.№45, Курчатова – 2007 г.
5. Бунин К.П. Металлография / К.П. Бунин, А.А. Баранов. - М.: Металлургия, 1970. - 256 с.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАССЕЯНИЯ АЛЬФА-ЧАСТИЦ НА ЯДРАХ $^{13}\text{C}$

Буртебаев Н.<sup>1</sup>, Буртебаева Д.Т.<sup>1</sup>, Бактыбаев М.К.<sup>1</sup>, Оглоблин А.А.<sup>2</sup>,  
Демьянова А.С.<sup>2</sup>, Сакута С.Б.<sup>2</sup>, Хамада Ш.З, Джансейтов Д.М.<sup>4</sup>,  
Насурлла М.<sup>5</sup>, Алимов Д.К.<sup>5</sup>, Мухамеджанов Е.С.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>РГП ИЯФ, г. Алматы, РК,  
<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия,  
<sup>3</sup>Университет Танта, Египет,  
<sup>4</sup>ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, РК,  
<sup>5</sup>КазНУ им. Ал-Фараби, г. Алматы, РК

### ВВЕДЕНИЕ

Ядро  $^{13}\text{C}$  может отнести к «нормальным» ядрам, хорошо описываемым моделью оболочек. В рамках этой модели его схема уровней надежно определяется до энергий возбуждения  $\sim 10$  МэВ. Тем не менее, в рамках гипотезы  $\alpha$ -частичных конденсации некоторые кластерные возбужденные состояния ядра  $^{13}\text{C}$  могут иметь завышенное значение радиуса. Знаменитое Хойловское состояние ( $0^+_{2^-}$ ,  $E^* = 7,65$  МэВ) в  $^{12}\text{C}$  является ярким примером таких структур. Ожидалось также, что аналогов Хойловского состояния можно наблюдать и в соседних ядрах. Например, кандидатом на такое состояния может претендовать возбужденный уровень  $^{13}\text{C}$  со спином  $1/2^-$  ( $E^* = 8,86$  МэВ). Недавние анализы возбужденных состояний ядра  $^{13}\text{C}$  в процессах рассеяния  $\alpha$ -частиц при энергии 388 МэВ [5] действительно продемонстрировали значительное повышение радиуса для данного состояния. Исследование природы возбужденных состояний  $^{13}\text{C}$  при этой энергии показал существование явления нейтронного для первого возбужденного состояния 3.09 МэВ ( $1/2^+$ ). Следовательно, новые измерения, особенно при более низких энергиях весьма желательны.

### ИЗМЕРЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ РАССЕЯНИЯ $\alpha$ -ЧАСТИЦ НА ЯДРАХ $^{13}\text{C}$ В ШИРОКОМ УГЛОВОМ ДИАПАЗОНЕ.

Эксперименты с высоким энергетическим разрешением проводились на циклотроне JYFL г. Ювяскюля, в Финляндии при энергии  $E=65$  МэВ [1] и на выведенном пучке изохронного циклотрона У-150М Института ядерной физики г.Алматы, Казахстан при энергии  $E=29$  МэВ. В эксперименте на циклотроне JYFL использовался набор из  $\Delta E$ -Е телескопов для регистрации энергетических спектров рассеянных  $\alpha$ -частиц. Была использована самонесущая мишень  $^{13}\text{C}$  (толщиной  $\sim 0,3$  мг/см<sup>2</sup>) с 98% обогащением. Она содержала некоторые примеси  $^{12}\text{C}$  и  $^{16}\text{O}$ . В эксперименте на циклотроне У-150М также использовался набор из  $\Delta E$ -Е телескопов, использовалась мишень из  $^{13}\text{C}$  с толщиной 0,4 мг/см<sup>2</sup> и 84% обогащением. Угловые распределения дифференциальных сечений упругого рассеяния и неупругого рассеяния  $\alpha$ -частиц для возбужденных состояний  $^{13}\text{C}$  со спинами  $1/2^+$  ( $E^* = 3,09$  МэВ) и  $1/2^-$  ( $E^* = 8,86$  МэВ) получены в диапазоне углов  $\theta_{\text{лаб}} = 10^\circ - 80^\circ$  с шагом  $1^\circ - 2^\circ$ . Энергетическое разрешение детектора при малых углах находилось в пределах (290) кэВ, а при больших - в пределах (350) кэВ. Во всех полученных эксперимен-

тальных угловых распределениях рассеянных  $\alpha$ -частиц наблюдаются выраженная дифракционная структура. Примерный энергетический спектр рассеянных частиц для ускоренных альфа частиц с энергией 29 МэВ приведен на рис. 1.

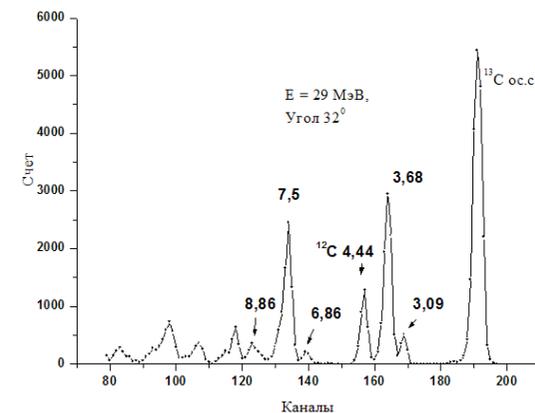


Рисунок 1. Энергетический спектр рассеянных  $\alpha$ -частиц на ядрах  $^{13}\text{C}$  при  $E=29$  МэВ под углом  $32^\circ$

На рисунке 2 представлены дифференциальные сечения рассеяния  $\alpha$ -частиц на  $^{13}\text{C}$  при энергиях 29 и 65 МэВ для основного состояния. Характерными для них являются проявление дифракционной структуры во всем угловом диапазоне.

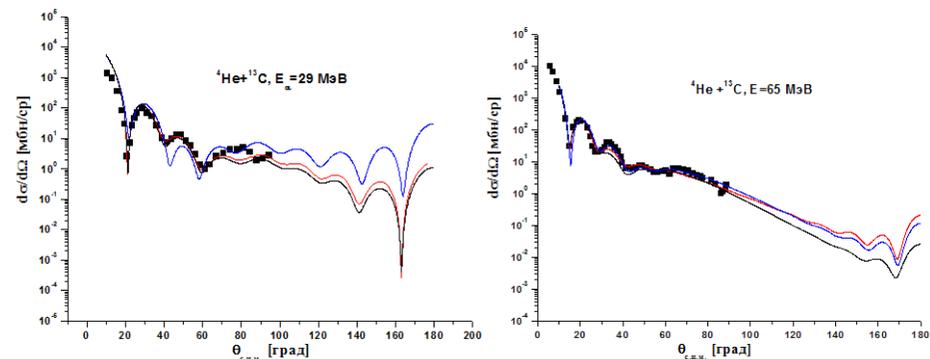


Рисунок 2. Дифференциальные сечения упругого рассеяния  $\alpha$ -частиц на ядрах  $^{13}\text{C}$  при энергиях  $E = 29$  МэВ и  $E = 65$  МэВ. Сплошными кривыми приведены расчеты в рамках оптической модели ядра и двойной фолдинг-модели с параметрами, взятыми из таблицы 1

Экспериментальных угловых распределениях упругого рассеяния наблюдается выраженная дифракционная картина во всем измеренном угловом диапазоне. В угловых распределениях при энергии 65 МэВ надежно выделяется широкий бамп в области  $70^\circ$  связанный ярким проявлением ядерной радуги в упругом рассеянии  $\alpha$ -частиц на ядрах  $^{13}\text{C}$ .

## АНАЛИЗ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ УПРУГО РАССЕЯНИЯ $\alpha$ -ЧАСТИЦ НА ЯДРАХ $^{13}\text{C}$ ПО ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Универсальным методом извлечения информации о потенциалах взаимодействия  $\alpha$ -частиц с ядрами является феноменологический анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию на основе оптической модели ядра. Дифференциальные сечения  $^{13}\text{C} + \alpha$  упругого рассеяния анализировались в рамках этой модели. В рамках этого подхода рассеяние на многочастичной системе ядра представляется как более простой процесс - рассеяние в поле комплексного оптического потенциала  $V(r)$ , величина которого в низкоэнергетической области задается в следующем виде:

$$V(r) = V_C(r) - V_R f(x_R) + V_{SO} a_{SO} f(x_{SO}) l * \sigma + i4W_D a_{WD} \frac{df}{dr}(x_D) \quad (1)$$

где  $V_C(r)$  – кулоновский потенциал равномерно заряженной сферы радиусом  $R=1.28A^{1/3}$  (фм) (этот потенциал зависит только от относительного расстояния между сталкивающимися ядрами и не зависит от положения нуклонов в ядре-мишени);  $V_R$  и  $W_D$  – глубины действительной и мнимой частей потенциала;  $V_{SO}$  – глубина спин-орбитальной части потенциала (действительная его часть);  $l$  – оператор углового момента;  $\sigma$  – спиновый оператор Паули. Радиальные зависимости в настоящей работе задавались в форме Вудса-Саксона:  $f(x_i) = (1 + \exp(x_i))^{-1}$ ,  $x_i = (r - r_i)/a_i$ , где  $r_i = r_R, r_{WD}$  и  $r_{SO}$  – радиусы половинного спада для действительной, мнимой и спин-орбитальной частей потенциала,  $a_i = a_R, a_{WD}$  и  $a_{SO}$  – диффузности соответствующих частей потенциала.

Экспериментальные данные по упругому рассеянию анализировались в рамках оптической модели с использованием известной расчетной программы ECIS88. Параметры потенциала, отвечающие оптимальному соответствию экспериментальных и расчетных значений дифференциальных сечений, находились минимизацией величины:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\sigma_{\text{от}}(\theta_i) - \sigma_{\text{из}}(\theta_i)}{\delta\sigma_{\text{из}}(\theta_i)} \right)^2 \quad (2)$$

где  $N$  – число экспериментальных точек в угловом распределении;

$\sigma_{\text{от}}(\theta_i)$  и  $\sigma_{\text{из}}(\theta_i)$  – рассчитанное и измеренное значения дифференциального сечения рассеяния для угла  $\theta_i$ ,  $\delta\sigma_{\text{из}}(\theta_i)$  – неопределенность величины  $\sigma_{\text{из}}(\theta_i)$ .

Параметры феноменологических оптических потенциалов (ОП) при энергиях 29 и 65 совместно с литературными данными при энергиях 54.1 и 48.7 МэВ [2], 35 МэВ [3] и 26.6 МэВ [4] подбирались таким образом, чтобы достичь наилучшего согласия между теоретическими и экспериментальными угловыми распределениями. Теоретические расчеты выполнялись по программе FRESCO. Автоматический поиск оптимальных параметров ОП производился путем минимизации величины  $\chi^2/N$ . Значения радиальных параметров потенциала взаимодействия, полученные в этой работе из глобальной зависимости параметров ОП:  $r_v = 1.245$  фм и  $r_w = 1.57$  фм были зафиксированы, и подгонка теории к эксперименту осуществлялась при вариации остальных 4 параметров ОП ( $V_R, W_D, a_R$  и  $a_w$ ), наборы потенциалов **В** (см. таблицу 1).

Таблица 1. Параметры оптических потенциалов для  $\alpha$ -частичного рассеяния на ядрах  $^{13}\text{C}$

Е, МэВ	Набор	$V_R$ , МэВ	$r_R$ , Фм	$a_R$ , Фм	$N_r$	$W$ , (МэВ)	$r_w$ , Фм	$a_w$ , Фм	$r_c$ , Фм
26,6	A	147,32	1,112	0,736		12,844	1,6	0,267	1,28
	B	142,23	1,245	0,762		16,75	1,57	731	1,28
	DF (A)				1,284	18,635	1,6	0,267	1,28
29	A	147,22	1,112	0,736		12,844	1,6	0,267	1,28
	B	142,23	1,57	0,762		15,77	1,57	731	1,28
	DF (A)				1,284	16,635	1,6	731	1,28
35	OM	138,95	1,112	0,799		14,125	1,6	0,15	1,28
	B	134,11	1,57	0,747		10,52	1,57	617	1,28
	DF (A)				1,292	10,667	1,6	0,595	1,28
48,7	A	134,49	1,112	0,79		14,79	1,6	0,693	1,28
	B	120,38	1,57	0,730		15,81	1,57	0,639	1,28
	DF (A)				1,149	14,79	1,6	0,693	1,28
54,1	A	135,48	1,112	0,795		14,21	1,6	0,8	1,28
	B	117,57	1,245	0,753		15,91	1,57	0,801	1,28
	DF (A)				1,169	14,21	1,6	0,8	1,28
65	A	123,07	1,112	0,8		14,97	1,6	0,76	1,28
	B	119,49	1,245	0,784		20,02	1,57	0,728	1,28
	DF (A)				1,185	17,91	1,6	0,63	1,28

Также в анализе упругого рассеяния  $^{13}\text{C}(\alpha, \alpha)^{13}\text{C}$  была использована оптическая модель с фолдинг-потенциалом. Полумикроскопическая фолдинг-модель определения потенциала взаимодействия  $\alpha$ -частиц с ядрами исходит из относительно хорошо известной информации о нуклон-нуклонных силах и распределении плотности ядерной материи. В отличие от феноменологического потенциала, потенциал фолдинг-модели не содержит свободных параметров, и это обстоятельство позволяет существенно сократить неоднозначности в величинах его параметров, извлекаемых из анализа данных по упругому рассеянию на основе ОП ядра. Появляется также возможность хорошо описывать экспериментальные данные, получаемые при очень низких энергиях в полном угловом диапазоне при физически обоснованных величинах параметров. Однако такая модель позволяет вычислить только реальную часть потенциала, мнимую же часть невозможно получить, исходя из каких-либо первопринципов, и таким образом, для этой части она по-прежнему остается феноменологической.

Представим построение полумикроскопического потенциала для системы  $^{13}\text{C}(\alpha, \alpha)^{13}\text{C}$  в рамках фолдинг-модели.

Реальная часть оптического потенциала для нуклон-ядерного рассеяния в однократной фолдинг-модели при расчетах имеет форму:

$$U_F(R) = \int dr_1 \cdot \rho_1(r_1) \cdot V(r) \quad (3)$$

где  $r = R - r_1$ ,  $p_1(r_1)$  – распределение плотности вещества ядра  $^{12}\text{C}$ ,  $V(r)$  – эффективное нуклон-ядерное взаимодействие. В расчетах эффективное нуклон-ядерное взаимодействие бралось в форме МЗУ-взаимодействия:

$$V(R) = 2999 \frac{\exp(-4R)}{4R} - 2134 \frac{\exp(-2.5R)}{2.5R} - 276 \left(1 - \frac{0.005E}{A}\right) \delta(R) \quad (4)$$

Плотность ядра  $^{13}\text{C}$  рассчитывалась по формуле:

$$\rho(R) = \rho_0 \left(1 + \alpha \left(\frac{R}{\alpha}\right)^2\right) \cdot \exp\left(-\left(\frac{R}{\alpha}\right)^2\right) \quad (5)$$

где  $a$  и  $\alpha$  – постоянные параметры.

Был проведен анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию  $\alpha$ -частиц на ядрах  $^{13}\text{C}$  в диапазоне при энергиях 29 и 65 МэВ [1] в рамках оптической модели ядра с помощью расчетной программы ECIS 88 и FRESKO.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ данных по упругому рассеянию при энергиях 26.6, 29, 35, 48.7, 54.1 и 65 МэВ выполнен в рамках оптической модели с использованием феноменологических параметров оптических потенциалов и полумикроскопических потенциалов вычисленных в рамках двухкратной фолдинг модели. Из подгонок расчетных дифференциальных сечений упругого рассеяния к экспериментальным данным в широком интервале энергии налетающих частиц получены физически обоснованные параметры потенциалов взаимодействия. Установлена энергетическая зависимость глубины реальной части потенциала.

Анализ данных по неупругому рассеянию (возбужденных состоянии 3,09 и 8,86 МэВ) планируется выполнить с использованием полученных параметров оптических потенциалов в следующих работах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта МОН РК № 601/ГФ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Demyanova A.S., Ogloblin A.A., Danilov A.N. et al.* // International Nuclear Physics Conference INPC2013: 2-7 June 2013, Firenze, Italy, NS 051
2. *Abele H., Hauser H.J., Korber A. et al.* // Zeitschrift fur Physik, Atomic nuclei, V.326, p. 373-381, 1987
3. *Артемов С.В., Кум Г., Радюк Г.А.* // Изв. РАН, сер. физ., т.65, № 11, стр. 1579-1581, 2001
4. *Кузнецов Б.И., Чернов И.П.* // Ядерная физика, т.20, вып.4, стр. 632-638, 1974
5. *T.Kawabata et al.*, Journal of Physics: Conference Series, 111 (2008) 012013; Journal of Modern Physics E vol. 17 (2008) 2071

## РЕГИСТРАЦИЯ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТЕОРИТА СТАНЦИЯМИ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА КАЗАХСТАНА

**Дубровин В.И., Смирнов А.А.**

РГП «Институт геофизических исследований» (РГП ИГИ), г. Алматы, РК

### ВВЕДЕНИЕ

15 февраля 2013 года примерно в 9:20 по местному времени (03:20:33 GMT) в атмосфере в районе г. Челябинск произошел взрыв метеорного тела. Болид вошел в атмосферу Земли незамеченным на скорости примерно 18-19 км/сек. Спустя примерно 32,5 секунды после входа в атмосферу небесное тело разрушилось над территорией Южного Урала на высоте примерно 15-25 км. Разрушение представляло собой серию событий, сопровождавшихся распространением ударных волн и ярким свечением. Осколки болида разлетелись по нескольким районам области. Точкой падения самого большого осколка считается озеро Чебаркуль.

Первыми движение тела по небу в 9:15 увидели жители Кустанайской и Актюбинской областей Казахстана. Жители Оренбурга — в 9:21 по местному времени. Также его след наблюдался в Свердловской, Курганской, Тюменской, Челябинской областях и Башкортостане. Самой дальнейшей точкой с видеofиксацией полета болида является район посёлка Просвет в Волжском районе Самарской области. Расстояние до Челябинска составляет 750 км.

От ударной волны были повреждены стекла в 7 320 зданиях, большинство из них – жилые дома. За медицинской помощью обратилось 1 613 южноуральцев, из них 69 человек пришлось госпитализировать. Материальный ущерб был предварительно оценен от 400 млн. до 1 млрд. рублей.

16 февраля члены метеоритной экспедиции Уральского федерального университета обнаружили в районе озера Чебаркуль фрагменты метеорита. В результате химических анализов была подтверждена внеземная природа мелких камней, найденных на поверхности озера Чебаркуль, и доказано, что это обыкновенный хондрит [1].

Это уникальный объект, изучением которого занялись люди разных специальностей как научного, так и ненаучного мира, так как события такого масштаба происходят в мире крайне редко.

Явление наблюдали сотни тысяч человек, оно было зафиксировано большим числом видеорегистраторов и камер наблюдения.

Настоящая работа посвящена обнаружению и детальному анализу сигналов от взрыва болида по записям казахстанских станций. Это уникальное явление должно быть изучено именно по инструментальным записям в различных физических полях (инфразвук, сейсмические колебания и др.).

## ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЧЕЛЯБИНСКОМ МЕТЕОРИТЕ

По расчетам НАСА в 03:20:33 GMT метеорит диаметром около 17-20 метров и массой порядка 10 тыс. тонн вошёл в атмосферу Земли на скорости около 18,6 км/с и взорвался на высоте 23.3 км [2]. Максимальное свечение было отмечено в точке с географическими координатами 54.8° с. ш. 61.1° в. д. Приблизительная энергия основного взрыва по оценкам НАСА составила около  $3.75 \cdot 10^{14}$  Дж, что эквивалентно 90 кТ в тротиловом эквиваленте. По оценкам НАСА, это самое большое из известных небесных тел, падавших на Землю со времени Тунгусского метеорита в 1908 году и соответствует событию, происходящему в среднем раз в 100 лет.

Рисунок 1 показывает трассу пролета болида от начала вхождения в атмосферу до взрыва над поверхностью. Вдоль трассы показаны высоты, красной звездочкой показано место взрыва [2].

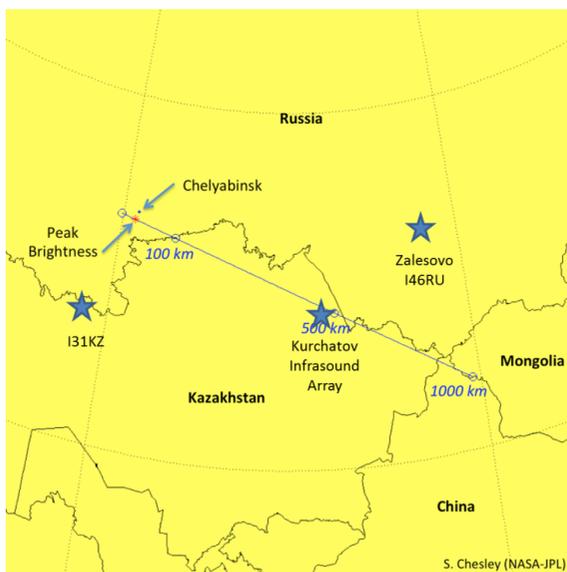


Рисунок 1. Карта трассы пролета метеорного тела с изменением высот. Красная звездочка – место взрыва. Синие звездочки – инфразвуковые станции

Ядерный взрыв и взрыв болида в атмосфере создают низкочастотные звуковые колебания (меньше 20 Гц), которые можно использовать для определения параметров события. Данные расположенных по всему миру инфразвуковых станций слежения за ядерными испытаниями (ОДВЗЯИ) показали наличие источника инфразвуковых волн в Уральских горах, что позволило сделать оценки его мощности. Среди всех событий это было наиболее мощным со времени ввода в строй первой инфразвуковой станции в 2001 году. До февраля месяца, взрыв болида над Сулавеси в Индонезии в октябре 2009 г. был самым сильным инфразвуковым событием, записанным 15 станциями сети ОДВЗЯИ. Взрыв болида 15 февраля 2013 года записан 17 инфразвуковыми станциями и превзошел событие в Сулавеси по интенсивности сигналов.

Этот источник инфразвука оказался нестационарным, как было бы при испытании ядерного оружия в шахте, а перемещался, что было отмечено по изменению направления на источник. Самая дальняя станция, которая зафиксировала событие, расположена в Антарктиде в 15 000 км от источника. Самой близкой инфразвуковой группой оказалась IS31 Актюбинск (Рисунок 1). Данная станция позволила более детально изучить сигнал и определить параметры взрыва и сопутствующих ему явлений (Рисунок 2). Важность полученной записи на инфразвуковой станции IS31 Актюбинск была отражена в пресс-релизе ОДВЗЯИ, опубликованном на следующий день после события [3].

В пресс-релизе приведен фрагмент записи станции IS31 Актюбинск (Рисунок 2). Начало записи низкочастотных звуковых волн от взрыва соответствует 03:22 GMT 15 февраля 2013 г.

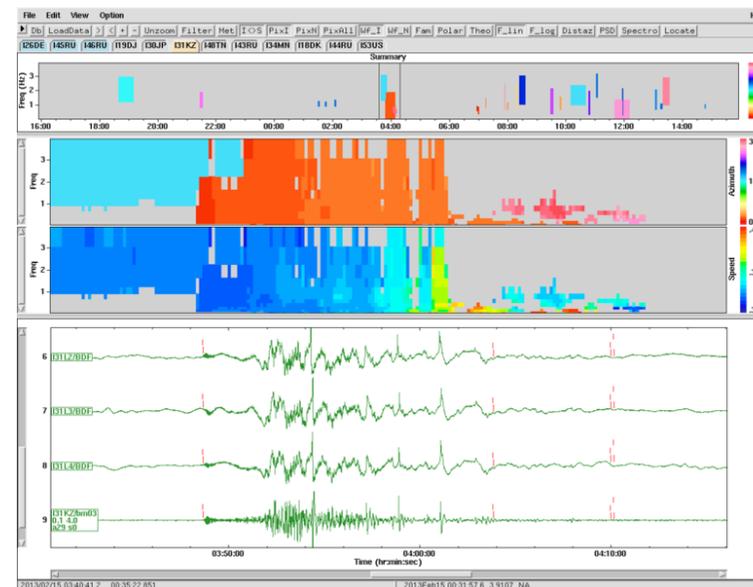


Рисунок 2. Волновые формы инфразвуковых волн, записанные станцией IS31 Актюбинск (ОДВЗЯИ), опубликованные в пресс-релизе ОДВЗЯИ на следующий день после события

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПИСЕЙ СИГНАЛОВ ОТ МЕТЕОРИТА НА КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЯХ

В казахстанскую сеть РГП ИГИ входят две инфразвуковые станции. Инфразвуковая станция IS31 Актюбинск расположена на северо-западе Казахстана (Рис.3) [4]. Группа состоит из 8 элементов, оснащенных микробарометрами MB2000, апертура группы 2 км (Рисунок 4).

Инфразвуковая станция Курчатов «KURIS» [5] расположена в районе г. Курчатов Восточно-Казахстанской области (Рисунок 3). Она состоит из 4 элементов, использованы микробарометры MB2005 (Рисунок 5).

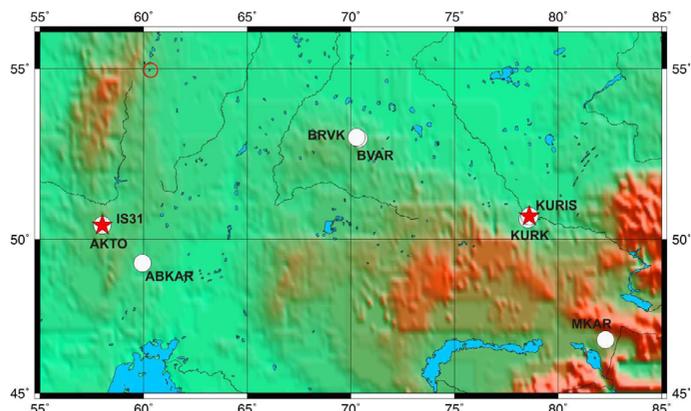


Рисунок 3. Расположение сейсмических (белый кружок) и инфразвуковых станций (красная звездочка) сети РПП ИГИ на территории Казахстана, зарегистрировавших болид (красный кружок – ориентировочное место эпицентра взрыва болида)

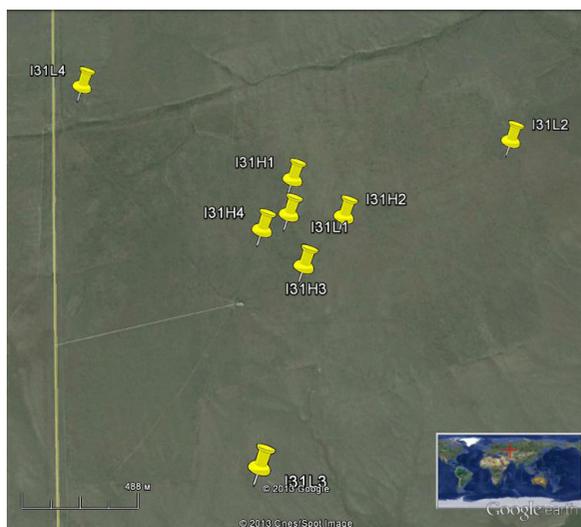


Рисунок 4. Конфигурация инфразвуковой группы IS31 Актюбинск

Инфразвуковая станция IS31 Актюбинск расположена примерно в 520 км от взрыва. Время вступления инфразвуковых фаз от взрыва болида 03:48 GMT. Данные станции IS31 Актюбинск поступают по спутниковому каналу, в режиме реального времени в Международный центр данных (г. Вена), а затем в Казахстанский Национальный центр данных (г. Алматы), где они систематически обрабатываются и анализируются.

Инфразвуковая станция «KURIS» расположена в 1 300 км, время вступления инфразвуковых фаз от взрыва болида 04:28 GMT. Время пробега инфразвука сос-



Рисунок 5. Конфигурация инфразвуковой группы Курчатов «KURIS»

тавило около 26 минут для станции IS31 и 1 час 6 минут для станции Курчатов. Данные станции передаются в центр сбора информации. Затем информация через интернет каналы передается в ЦСОСЦИ.

Результатами обработки сигналов обеих инфразвуковых станций являются автоматические бюллетени, которые создаются в Центре данных за каждые сутки. В бюллетенях как станции Актюбинск, так и Курчатов были найдены детектирования, соответствующие взрыву болида. Именно эти отрезки записей анализировались более подробно.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕКТОРА РМСС

Сейсмическая и инфразвуковая сеть Казахстана зарегистрировали взрыв Челябинского болида наилучшим образом. Самой близкой в мировой сети к эпицентру оказалась инфразвуковая группа IS31 Актюбинск, она расположена примерно в 520 км к югу от него. Азимут от группы на эпицентр около  $16^\circ$ . Такое удачное расположение позволило записать сигнал в самом широком частотном диапазоне, с самым большим количеством деталей. На рисунке 6 показан обзорный вид записи сигналов от взрыва болида группой IS31. Кроме того, что станция была расположена ближе всех к эпицентру, в этот день, в это время суток в районе её расположения были идеальные условия для регистрации инфразвука. Основным источником шума для инфразвука являются ветровые помехи [6]. На рисунке 6 видно, что станция до и после взрыва детектировала североатлантические микробаромы [7] (азимут на источник около  $300^\circ$ ) и сигналы от газовых факелов Жанажол [8] (азимут на источник около  $190^\circ$ ). Это говорит о том, что в это время ветровые помехи были очень слабы. В 3 часа 48 минут по Гринвичу на всех восьми каналах станции вступил мощнейший сигнал от взрыва болида. Сигналы от него регистрировались в течение 24 минут.

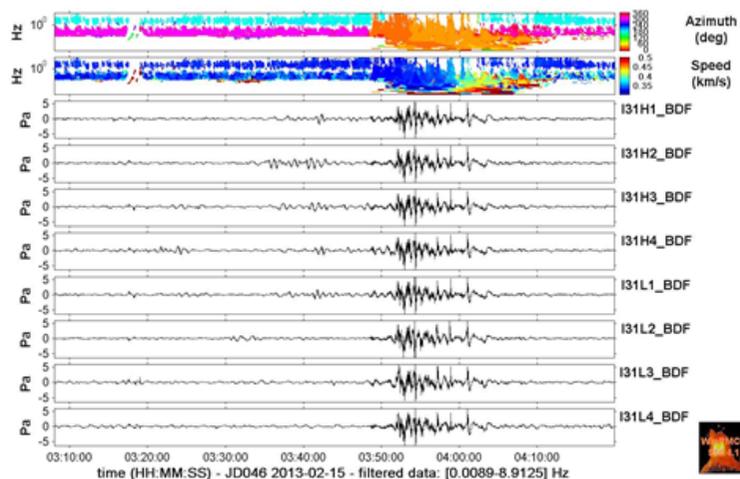


Рисунок 6. Обзорный вид сигналов от Челябинского болида на инфразвуковой станции IS31 и результат применения РМСС детектора. Верхний график – азимуты на источники инфразвуковых сигналов, второй сверху – кажущиеся скорости, нижние восемь графиков записи инфразвука на элементах группы. В волновых формах с 3:48:00 четко виден сильнейший сигнал от взрыва болида.

На рисунке 7 показана детальная картина записи сигналов от взрыва. Нижний график на рисунке – это волновая форма от взрыва на канале H1 инфразвуковой группы IS31. Сигнал вступил в 3:48, сначала с относительно небольшой амплитудой. В 3:52 амплитуда сигнала резко возросла, всего видно 5N волн. Параметры сигнала, рассчитанные методом РМСС, показаны на двух верхних графиках на рисунке 7. На верхнем графике показан результат расчета азимута на источник. Частотный спектр сигнала очень широк и выходит за пределы полосы 0,01-9 Гц, в которой производился расчет. Верхний предел полосы ограничен частотой Найквиста, которая при частоте дискретизации записи 20 Гц составляет 10 Гц. На верхнем графике рисунка 7 видно, что азимут на источник немного увеличивается от начала к концу сигнала. По-видимому, это обусловлено различной скоростью ветра на разных высотах преломления инфразвуковых волн. Такие различия в скорости приводят к различным отклонениям детектированного азимута от истинного [9]. Первыми пришли стратосферные фазы сигнала, преломляющиеся на высоте менее 50 км, ближе к концу записи детектированы, по-видимому, термосферные фазы, преломившиеся на большей высоте. Подтверждением этой гипотезы служит информация о кажущейся скорости, представленная на среднем графике. На графике видно, что примерно в течение 12 минут в области высоких частот кажущиеся скорости составляли около 0,35 км/с, что характерно для стратосферных фаз [9]. Позднее кажущиеся скорости увеличились примерно на 400 м/с и более, это говорит о том, что эти фазы были преломлены на большей высоте. Большой разброс найденных значений азимуты и скорости в области самых низких частот говорит о том, что для надёжного детектирования сигналов в области этих частот апертура инфразвуковой группы уже мала.

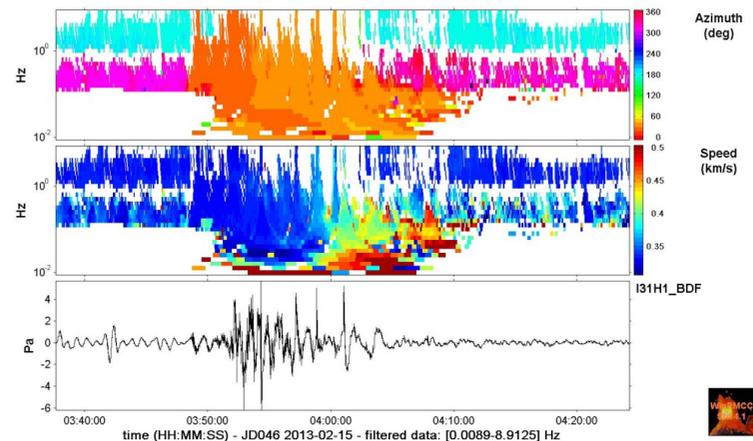


Рисунок 7. Детальная картина записи сигналов от взрыва Челябинского болида. На верхнем графике показан результат расчета азимута на источник, на среднем – результат расчета кажущейся скорости сигнала. Внизу показана запись сигнала на канале H1 инфразвуковой группы IS31 Актюбинск

Сигналы от взрыва были детектированы ещё одной казахстанской инфразвуковой станцией, установленной в г. Курчатове. Это третья ближайшая к эпицентру инфразвуковая группа (вторая – российская станция I43RU, Дубна). Расстояние от эпицентра до Дубны составляет 1 090 км, до Курчатова 1 300 км, соответственно. Азимут от инфразвуковой группы «KURIS» на эпицентр составляет 298°. Вид сигналов от Челябинского болида на инфразвуковой станции в Курчатове и результат применения РМСС детектора показаны на рисунке 8.

На рисунке видно, что станция не детектировала в это время микробаромы. Это говорит о том, что в районе её установки были сильные ветровые помехи. Вид волновых форм подтверждает это, сигнал визуально выделяется на фоне помех не очень четко. Результаты применения детектора РМСС показывают, что записи, тем не менее, содержат ценную информацию об источнике. Картина распределения по времени и частоте найденных азимуты и кажущихся скоростей в целом похожа на результаты, полученные для IS31 Актюбинск. Однако хорошо заметно, по крайней мере, одно важное отличие. Детектирования в области низких частот на станции Курчатова образуют отдельный кластер. Таким образом, по записям этой станции можно выделить уже не две, как в Актюбинске, а три инфразвуковых фазы. По-видимому, в области низких частот регистрируются акустико-гравитационные волны [10].

Помимо инфразвуковых станций болид был зарегистрирован также и сейсмическими станциями мониторинговой сети ИГИ. На рисунке 9 показаны вид сигналов от Челябинского болида на сейсмической группе Акбулак и результат применения РМСС детектора. Сейсмический сигнал от удара о землю звуковой волны под местом взрыва четко виден в волновых формах в 3:22:00 по Гринвичу. Значительно позднее, около 4:00:00 GMT в волновых формах видны записи инфразвукового сиг-

нала, записанного сейсмической станцией. Такая разница во времени регистрации сейсмического и акустического сигналов объясняется тем, что инфразвук распространяется значительно медленнее, чем сейсмические сигналы.

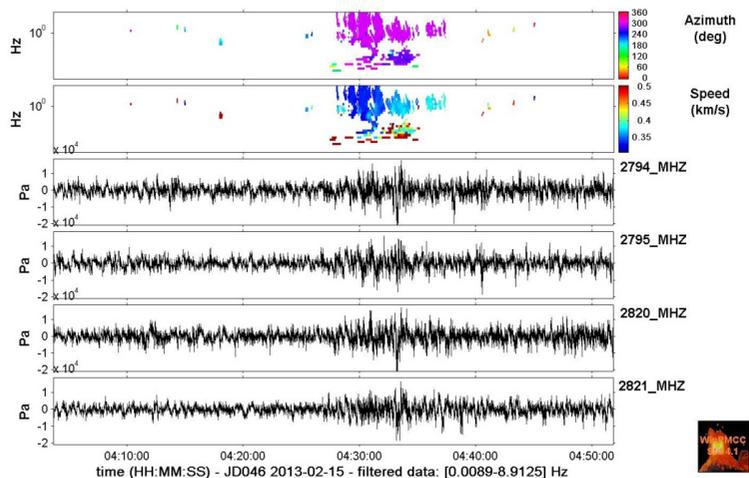


Рисунок 8. Вид сигналов от Челябинского болида на инфразвуковой станции «KURIS» и результат применения РМСС детектора. Верхний график – азимуты на источники инфразвуковых сигналов, второй сверху – кажущаяся скорость, нижние четыре графика – записи инфразвука на элементах группы

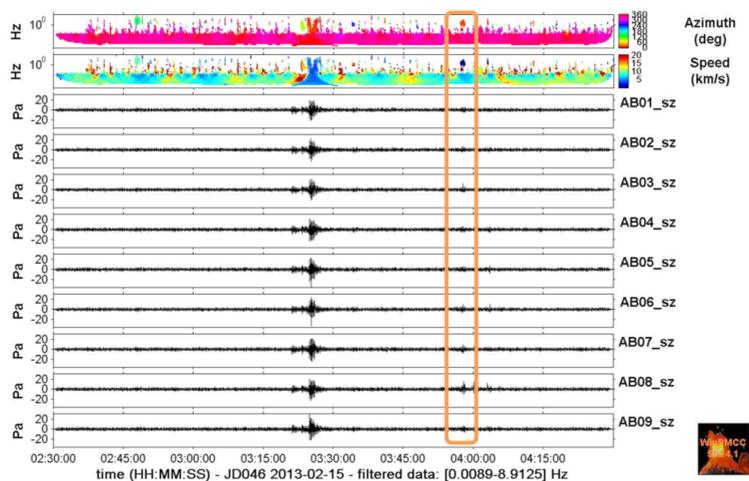


Рисунок 9. Вид сигналов от Челябинского болида на сейсмической группе Акбулак и результат применения РМСС детектора. В оранжевой рамке – волновые формы и детектирования инфразвука от челябинского болида, сейсмический сигнал от взрыва записан группой в 3:22:00

Помимо группы Акбулак, сейсмический сигнал от взрыва болида записали группы Боровое, Каратау, Маканчи и другие станции. Положение эпицентра, полученное по данным сейсмических групп ИГИ, очень хорошо совпадает с данными других источников.

Определено значение  $T_0$  – времени достижения звуковой волной от взрыва поверхности Земли. Оно равно 03:21:59.64 GMT. Разница между временем взрыва по расчетам НАСА 03:20:33 GMT и временем  $T_0$  удовлетворительно соответствует определениям высоты взрыва (23 км). Этот метод можно использовать для определения высоты источника.

По сейсмическим данным удалось определить магнитуду и энергию сейсмического события. Магнитуда  $M_b = 3.5$ , энергетический класс  $K = 8.4$ . Для сравнения отметим, что магнитуда по сейсмическим данным Тунгусского метеорита равна 5,0.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Казахстанские станции мониторинга ядерных испытаний зарегистрировали сигналы от взрыва Челябинского болида 15 февраля 2013 г. Причем благоприятное географическое расположение станций казахстанской сети позволило получить самую существенную информацию о событии, казахстанские станции расположены ближе всех к эпицентру.

Уже начальные стадии интерпретации болида позволили уточнить информацию о координатах эпицентра взрыва болида, о частотном составе инфразвуковых и сейсмических сигналов от него. Получены предварительные данные об инфразвуковых фазах от события. Произведена парадоксальная регистрация инфразвуковых сигналов сейсмической группой.

Следует отметить, что на данном этапе проведена только начальная интерпретация сигнала от взрыва болида. Дальнейшее изучение этого мощнейшего сигнала очень ценно как для задач мониторинга, так и для изучения физики болидов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михаил П.: В Челябинской области обнаружены новые фрагменты метеорита/ Михаил Пинкус //Челябинская область: Российская газета. – 2013. – 20 фев.;
2. Additional Details on the Large Fireball Event over Russia on Feb. 15, 2013 [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://neo.jpl.nasa.gov/news/fireball\\_130301.html](http://neo.jpl.nasa.gov/news/fireball_130301.html);
3. Пресс-релиз Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ) [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ctbto.org/press-centre/press-releases/2013/russian-fireball-largest-ever-detected-by-ctbtos-infrasound-sensors>;
4. Демин, В.Н. Новая инфразвуковая станция международной системы мониторинга ОДВЗЯИ Актюбинск (IS31) / В.Н. Демин, В.Г. Кунаков, А.А. Смирнов // Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: тезисы докладов. Междунар. конф., Боровое, Казахстан: 12 – 16 августа 2002 г - Курчатова, 2002. - С. 11.;

5. Инфразвуковые станции КНЦД [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.kndc.kz/index.php/ru/observation-network-menu-ru/infrasound-stations-menu-ru/kuris-menu-ru;>
6. *K.T. Walker and M.A.H. Hedlin, In: Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, A. Le Pichon, E. Blanc and A. Hauchecorne (Eds.), ISBN: 978-1-4020-9507-8, p. 141-184, Springer, 2010;*
7. Объяснение природы источников когерентных низкочастотных сигналов, регистрируемых мониторинговой сетью НЯЦ РК / А.А. Смирнов, Ле Пишон А., Гильберт Ж. // Вестник НЯЦ РК. - 2010. - Вып. 3. -С. 76-81;
8. Сезонные вариации инфразвуковых сигналов от газовых факелов: наблюдение и моделирование / А.А. Смирнов, В.И. Дубровин, Л. Эверс // Вестник НЯЦ РК. - 2010. - Вып. 3. -С. 70-75;
9. *Garces, M.A., R.A. Hansen, and K.G. Lindquist (1998), Traveltimes for infrasonic waves propagating in a stratified atmosphere, Geoph. J. Int., 135, 255–263;*
10. *L.G. Evers and H.W. Haak, In: Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, A. Le Pichon, E. Blanc and A. Hauchecorne (Eds.), ISBN: 978-1-4020-9507-8, p. 3-27, Springer, 2010.*

**КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УРАНОНОСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
УЧАСТКА № 2 ТОРТКУДУК МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОИНКУМ  
ДО И ПОСЛЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ**

**Есжанова Д.А., Жолдасбеков К.А.**  
филиал АО «Волковгеология» ЦОМЭ, г. Алматы, РК

**МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ И ПУТИ СООБЩЕНИЯ**

Участок № 2 Торткудук месторождения Моинкум, расположен в Созакском районе Южно-Казахстанской области. Урановое оруденение на участке Торткудук было выявлено ГРП № 5 Волковской экспедиции в 1976 году при рекогносцировочно-поисковом бурении в масштабе 1:200 000.

Детальная разведка участка Торткудук начата в 1987 году, в 1999 г. он был передан для доразведки и промышленного освоения ТОО СП «КАТКО».

Район участка представляет собой пустыню, сложенную песчаным массивом Моинкум. Пески аллювиально-эолового происхождения, мелкобугристые, заросшие скудной растительностью. На севере они граничат с аллювиальной равниной поймы реки Шу с абсолютными отметками от 200 м до 220 м.

Регион по природно-сельскохозяйственному районированию земельного фонда Республики Казахстан (1998) относится к Арало - Балхашской провинции зоны полынных и полынно-солянковых пустынь, подзоне серо-бурых почв, а по физико-географическому районированию Казахстана - к пустынной ландшафтной зоне умеренного пояса. В геоморфологическом отношении территория находится в переходной зоне от песков Моинкум к долине реки Шу. Северная часть обследованной территории находится в пределах долины реки Шу, а южная и центральная – в песках Моинкум.

Гидрографическая сеть в пределах участка отсутствует. Река Шу, расположенная в 50 км севернее, в летнее время пересыхает, превращаясь в цепочку разобщенных плесов с затхлой водой.

Климат резко континентальный с холодной малоснежной зимой (минимальная температура воздуха до минус 30°C) и жарким (до плюс 40°C) засушливым летом. Атмосферные осадки выпадают, в основном, в горной части хр. Б.Каратау. В пределах песчаного массива количество осадков не превышает 190 мм в год. Максимум осадков (до 85%) приходится на зимне-весенний период. Растительный и животный мир типичны для пустынь и полупустынь. Район является экономически слабо освоенным и малообжитым. В пределах пустыни постоянного населения нет.

Самыми крупными населенными пунктами являются пос. Шолак-Корган, Созак, п.г.т. Таукент, расположенные в предгорьях хр. Б.Каратау, в 50 км от участка.

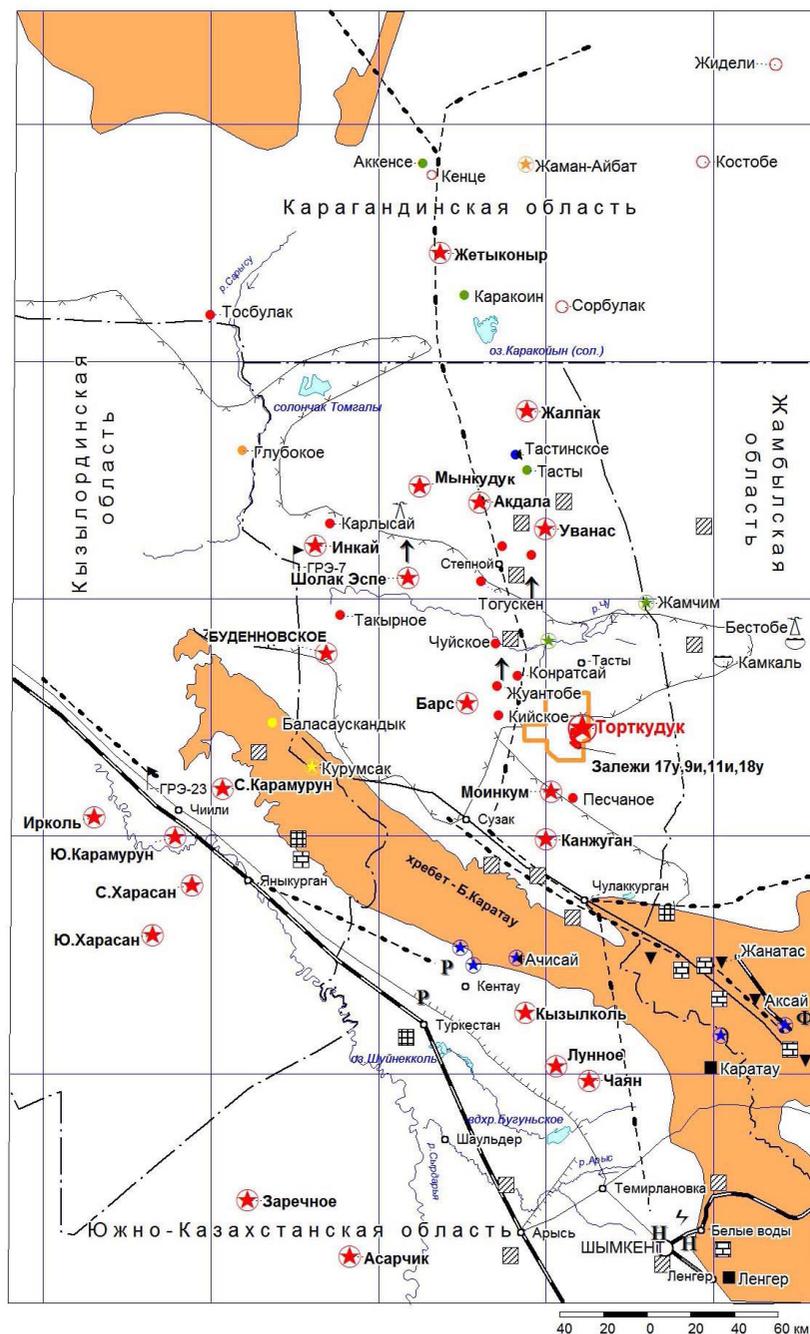


Рисунок 1. Обзорная административная карта района

## КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения степени и качества ураноносности геологического разреза участка Торткудук и его экологического состояния применялись следующие методы геофизических исследований:

1. Геофизические исследования скважин поисково-разведочного бурения.
2. Радиометрическое сопровождение экологических маршрутов с замерами МЭД в точках наблюдения по профилям текущего и прошлого бурения.

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН (ГИС)

Геологические задачи:

1. Выявление радиоактивных аномалий в скважинах.
2. Определение глубин залегания, границ и мощности рудных пересечений, содержания в них урана.
3. Оценка качества и представительности керна материала.
4. Литолого-стратиграфическое расчленение разреза скважин.
5. Контроль технического состояния скважин.
6. Оценка литолого-фильтрационных типов пород и послонных значений Кф в разрезе скважин.

Для их решения применялся комплекс ГИС, включающий:

- гамма-каротаж (ГК);
- электрокаротаж в модификациях кажущихся сопротивлений (КС), естественной поляризации скважины (ПС),
- инклинометрия (ИК);
- каротаж по мгновенным нейтронам деления (КНД-м);
- кавернометрия (КМ);
- токовый каротаж.

При этом первые три метода из комплекса (гамма-каротаж, электрокаротаж КС, ПС, инклинометрия) выполнялись во всех скважинах, независимо от их целей, задач и назначения. Иначе, этот комплекс называется «Стандартный». Без выполнения всех методов, входящих в его состав, скважина к активированию, как выполнившая геологическое задание, принята быть не может. Остальные же методы каротажа (КНД-м, КМ, ТМ, Дм) являются дополнительными, направленными на решение отдельных специфических задач геологического, технического и технологического характера.

## ГАММА-КАРОТАЖ

Работы этим методом выполнялись в соответствии с требованиями «Инструкции по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений», вып. 1987 г. ГК проводился серийной аппаратурой и приборами.

Радиометры градуировались с использованием стандартных источников Ra-226 с содержанием радия 1,10 мг и 0,096 мг не реже одного раза в месяц.

Контрольный гамма-каротаж выполнен в рядовых поисково-разведочных скважинах и специально оборудованных контрольно-поверочных скважинах.

Объем контрольного гамма-каротажа в среднем за период разведочных работ на участке № 2 (Торткудук) (залежи 17у, 18у, 9и+11и), составил 6,5% от количества скважин, имеющих урановое рудное пересечение.

**Интерпретация данных гамма-каротажа** проводилась в режиме дифференциальной интерпретации с использованием ЭВМ по стандартной программе, составленной в соответствии с её алгоритмом.

При переводе интенсивности гамма-излучения, измеренного в условиях естественного залегания урановых руд, в содержание урана в результаты измерений вводились поправочные коэффициенты:

- поправка на содержание в рудах тория и калия—40;
- поправка на влажность;
- поправка на радиоактивное равновесие;
- поправка на «отжатие» радона.

Основным метрологическим показателем, определяющим количество мкр/ч, соответствующих после введения всех поправок 0,01% урана, является пересчетный коэффициент  $K_0$ .

Поправка на содержание в рудах тория и калия-40 вводилась при определении границ оруденения и при определении средних содержаний в рудных пересечениях.

Величина пересчетного коэффициента  $K_0$  установлена равной 11 500 мкр/ч% по измерениям на рудной модели и подтверждена расчетами значений  $Z'_{эф}$  (составляет 12,3) и коэффициента приведения  $N_0$  (составляет  $1,0 \pm 0,01$ ) по данным полного силикатного анализа 22 групповых проб, отобранным из 860 скважин из различных геохимических зон и литологических разностей.

Влажность и объемный вес изучены по 72 определениям на монолитах. При интерпретации данных гамма-каротажа для рудных залежей 17у и 18у принята поправка на влажность 0,79, для залежей 9и+11и - 0,78. Среднее значение объемного веса влажных руд по иканскому горизонту равно  $1,93 \text{ г/см}^3$ , для уюкского горизонта  $1,96 \text{ г/см}^3$  которое и было использовано при выборе значений  $V_k$ , используемых при дифференциальной интерпретации данных гамма-каротажа в соответствии с Инструкцией.

Поправка на радиоактивное равновесие ( $K_{pp}$ ) изучалась по результатам лабораторных анализов проб керна на уран и радий. Всего на участке, в общей сложности, отобрано свыше 8 700 секционных проб, из них более 2 800 рудных в проницаемых породах, характеризующих 497 рудных пересечения с выходом керна не ниже 70%.

По результатам выполненных исследований установлены радиологические особенности иканского (9и+11и) и уюкского (17у, 18у) продуктивных горизонтов в пределах залежей участка № 2 (Торткудук) месторождения Моинкум, которые кратко могут быть охарактеризованы следующими признаками:

- радиоактивное равновесие на участке № 2 (Торткудук) в пределах продуктивных горизонтов, в целом, нарушено в сторону урана;
- выявлено наличие радиевых ореолов, имеющих достаточно широкое распространение;
- целесообразно использовать единый  $K_{pp}$  по морфологическим элементам иканского (залежь 9и+11и) и уюкского горизонтов (залежь 18у);
- на месторождении отчетливо проявлен эффект «отжатия» радона, происходящий в процессе вскрытия рудных тел.

### ЭЛЕКТРОКАРОТАЖ (КС, ПС)

Помимо литолого-стратиграфического расчленения разреза скважин данные электрокаротажа КС, ПС использовались и для количественной оценки послонных значений фильтрационных свойств пород, слагающих этот разрез.

Литолого-стратиграфическое расчленение разреза проводилось с использованием традиционных, общеизвестных методов и приемов.

Предпосылками, определяющими возможность использования данных электрокаротажа КС и ПС для решения этих задач, в первую очередь, являются весьма благоприятные геоэлектрические свойства пород. Это позволяет не только однозначно дифференцировать породы на проницаемые, слабопроницаемые и непроницаемые, но и дать количественную оценку их фильтрационным свойствам.

Одной из особенностей радиологии участка Торткудук является то, что характерные для пластово-инфильтрационных месторождений урана остаточные радиевые ореолы здесь проявлены и развиты в несравненно большей степени, чем на многих других месторождениях этого типа, каким, к примеру, являются Уванас, Жалпак, Мынкудук, Акдала. Приурочены они при этом не только к окисленным интервалам рудных пересечений, но и весьма часто проявлены и в сероцветных породах. Мощность остаточных ореолов может достигать 6-7 и более метров. Средние содержания радия в них 0,023%, т.е. они зачастую формируют радиевые рудные тела, которые при определенных обстоятельствах и условиях вполне могут быть ошибочно приняты за балансовые (по стволовым запасам) урановые рудные тела. Представляется, что искажения, вносимые радиевыми ореолами в запасы урана участка Торткудук, в целом достаточно малы и не превышают 2-3%. В то же время они могут внести достаточно весомую погрешность в запасы конкретной добычной площадки, подготовленной и предназначенной для извлечения урана методом СПВ. Поэтому во избежание досадных недоразумений рекомендуется все скважины, расположенные в непосредственной близости от границы ЗПО, бурить обязательно с отбором керна, или обеспечить выполнение в них КНД-м.

### ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

В соответствии с поставленными перед методами электрокаротажа задачами интерпретация результатов этого вида каротажа включала в себя два уровня интерпретации:

- **качественный**, включающий решение задач по литолого-стратиграфическому расчленению разреза скважин;
- **количественный**, конечной целью которого является определение послонных значений коэффициентов фильтрации ( $K_{\phi}$ ) пород.

Геозлектрические параметры пород, формирующих литолого-стратиграфическое строение геологического разреза участка Торткудук, определены по результатам интерпретации данных электрокаротажа КС, ПС, выполненных с привлечением гранулометрических анализов. Возможность стратиграфического расчленения разрезов скважин по данным стандартного электрокаротажа оценивалась на основе составленных для этой цели корреляционных геозлектрических разрезов.

Таким образом, рудовмещающие породы разделены на 4 литолого-фильтрационных типа (ЛФТ). Вариационный график, построенный по результатам этого разделения приведен на рисунке 2.

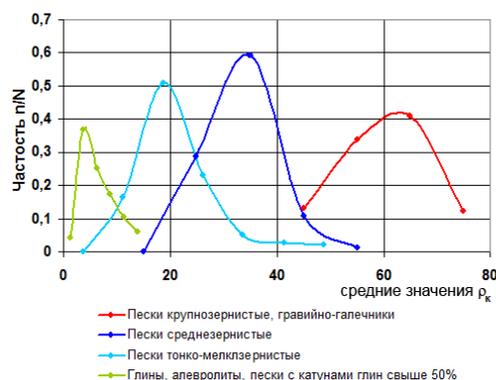


Рисунок 2. Вариационные графики значений  $\rho_k$  для различных литотипов рудовмещающего горизонта

Результаты гамма-каротажа использованы для решения основной задачи, стоящей при разведке урановых месторождений, - выявления в скважинах аномальной радиоактивности и определение по ним исходных данных (мощность, среднее содержание), необходимых для подсчета запасов урана.

### РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ УЧАСТКА ТОРТКУДУК И МЕТОДЫ ЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ

**Дешифрирование космоснимков**, равно как и остальные виды работ, проводятся в два этапа, что позволяет произвести оценку состояния почвенно-растительного слоя и сделать сравнительную характеристику земель до начала и после окончания проведения детальной разведки. Для предварительной оценки состояния участка работ, был приобретен комплект космофотоснимков (КФС) масштаба 1:10 000 IRS. Данный масштаб является наиболее оптимальным для проведения работ, так как обеспечивает необходимую и достаточную детальность изображения местности, (минимальный линейный размер выявляемых объектов - 5-8 м).

Для сравнительной оценки нарушенности почвенно-растительного слоя, произошедшей в ходе детальной разведки, приводятся космоснимки (фрагменты участка геологического отвода), сделанные в 2009 году до разведки, и в 2013 году после разведки, которые показывают состояние участка геологического отвода, как до начала, так и по окончании разведочных работ.

Основными особенностями параметров при дешифрировании КФС являются:

- цвет или световые тона космоснимков;
- структура рисунков поверхности;
- очертания объектов;
- природно-ландшафтные особенности;
- видимые нарушения поверхности.

Исходя из географического положения, геологических, природно-ландшафтных условий, и ранее полученных данных, выстраивается взаимосвязь геолого-географических, экологических, народнохозяйственных характеристик данного района. Выявляется первоначальная зависимость деградированных и загрязненных земель от антропогенных факторов. На основе КФС при выполнении радиоэкологических маршрутов проводится визуальное наблюдение и идентификация объектов местности, и зон влияния антропогенных факторов. Некоторые из них четко выражаются на космофотоснимках, а другие требуют подтверждения или опровержения при проведении экологических маршрутов.

Зависимость экологического состояния почвенного покрова от антропогенных факторов определяется на местности с учетом не только техногенной нагрузки, но и климатическим и природным влиянием, оказываемым на данную территорию.

Имея в наличии разновременные снимки одного и того же участка, мы с определенной уверенностью можем оконтурить все нарушенные и загрязненные участки, и отделить их от ненарушенных земель, которые на снимках выделяются разными цветовыми фототонами. Это дает нам возможность, при проведении полевых работ, определить истинный характер и масштабы нарушенности земель, и под воздействием каких факторов они были нарушены.

Все полученные данные интерпретируются согласно разработанным методикам, и являются исходными для построения карт.

При дешифрировании космоснимков определились формы рельефа и почвенно-растительный слой. Дана предварительная оценка деградации земель, связанная с окончанием поисково-разведочных работ и иных видов деятельности 80-90-х годов, а так же в результате проведения детальной разведки в настоящее время.

**Механические нарушения участков.** Почвенно-растительный слой подвергся нарушениям в виде дорожной дегрессии и связанными с производственной деятельностью открытыми горными выработками (зумпфы, шурфы, канавы), которые большого распространения не получили.

Восстановление почвенно-растительного слоя за прошедший период времени сос-

тавило около 60-70%. Это обусловлено природно-климатическими условиями, так как участок расположен в полупустынной местности, представленной бугристо-грядовыми песками и песчаными дюнами с бедным растительным покровом, а так же из-за малого количества осадков, которые в пределах песчаного массива не превышают 120-190 мм в год. Максимум осадков (до 85%) приходится на зимне-весенний период. На территории участка также отмечаются следы сельскохозяйственной деятельности, которая представлена редкими животноводческими фермами, колодцами, площадь которых и подходы к ним засорены твердым бытовым и инертным мусором.

Бурение разведочных скважин и прокладка грунтовых дорог в период проведения поисково-разведочных работ вызвали на ряде участков механические нарушения почвенного покрова.

Вдоль профилей в слабой степени проявляется дорожная депрессия, следствием которой являются нарушения в растительном покрове и ухудшения свойств почв. Участки, подвергшиеся дорожной депрессии, часто являются потенциальными очагами дефляции. Восстановление почвенно-растительного покрова происходит очень медленно.

На обследованной территории выделяются два типа деградации почвенного покрова: сельскохозяйственная и техногенная. Механические нарушения на обследованной территории занимают относительно небольшую площадь и носят локальный или линейный характер. Дорожной депрессии подвержена незначительная часть участка работ, около 2% всей территории. Глубина нарушений почвенного покрова составляет 10-40 см., а местами достигает 60 см. Важно отметить, что вследствие дорожной депрессии почвенно-растительный слой будет восстанавливаться долгий период времени, так как использование полевых дорог будет продолжаться до окончания всех видов геологоразведочных и добычных работ на данной территории.

В ходе проведения экологического обследования в 2009 г., по завершению первого этапа работ по детальной разведке, было выявлено, что к предыдущим нарушениям добавились и современные.

*Рассматриваемые нарушенные участки составили:*

- 1) в контурах **залежи 17у** до разведки в 2009 г. - 18%, и после разведки в 2013 г. - 29%;
- 2) в контурах **залежи 18у** до разведки в 2009 г. - 17%, и после разведки в 2013 г. - 31%.

При обследовании отмечено множество несанкционированных дорог, проложенных по всей территории месторождения. Одной из характеристик степени устойчивости ландшафтов к антропогенным воздействиям является степень развития растительного покрова, выполняющего стабилизирующую функцию для всех компонентов ландшафтов и являющегося интегральным показателем состояния геосистемы в целом. Нарушение растительного покрова ведет к усилению развития неблагоприятных экзогенных процессов, таких как ветровая и водная эро-

зия, интенсификация засоления почвогрунтов, колебание уровня грунтовых вод, изменение микроклиматических условий и усиление общей агрессивности среды пребывания человека. Результаты обследования показали, что почвенный покров подвержен деградации на площади, составляющей около 5-7% от общей территории геологического отвода. На остальной части почвенный покров практически не подвергся трансформации.

В соответствии с критериями экологической оценки состояния почв современная экологическая ситуация в почвенном покрове на участке работ оценивается как относительно удовлетворительная. Загрязнения, относящиеся к техногенному типу, имеют точечное распространение и какого либо значимого воздействия на окружающую среду не оказывают.

### РАДИАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОТВОДА

Рассматриваемая территория находится в пределах Шу-Сарысуйской депрессии, которая является крупнейшей урановорудной провинцией на территории РК.

Радиационная обстановка участка работ обусловлена распространением радионуклидов в окружающей среде и носит, как природный, так и техногенный характер.

Были выполнены:

- 1) *экологические маршруты* с радиометрическим сопровождением и замерами МЭД в каждой точке наблюдения по профилям текущего и прошлого бурения;
- 2) *отбор проб* из каждого почвенного слоя, для определения pH и плотного остатка, определения  $\alpha$ -активности, концентраций U; Th; Pb; As; K; Cu; Ni; Zn и содержание C-органического и SO<sub>4</sub>, а так же определения количественного и фракционного состава гумуса и почвенного среза. Не менее четырех проб на один почвенный срез и одна проба на гумусовый слой.

Как показывают проведенные исследования, основными источниками воздействия на окружающую среду и загрязнения являются техногенные процессы, связанные с проведением комплекса геологоразведочных работ, а именно с нарушениями почвенно-растительного покрова:

- механические нарушения, связанные с бурением скважин, открытыми разработками грунта при проходке зумпфов;
- избыточное поверхностное увлажнение почвенно-растительного покрова самоизливающимися скважинами, что приводит к заболачиванию почв и дальнейшего их засоления;
- прямое загрязнение почвы радионуклидами и увеличение общей  $\alpha$ -активности, в результате бурения скважин и выноса на поверхность естественных радионуклидов.

Что касается природного характера естественного распространения радионуклидов, то оно определяется геологической средой, её направленностью и интенсивностью геологических процессов, перераспределения веществ, в т.ч. и радиоактивных.

Характеристика общей радиационной обстановки участка работ, дана на основе проведенных полевых работ проводимых в 2009 г. силами экологической партии филиала АО «Волковгеология» ЦОМЭ, результатов аналитических работ, проведенных лабораторией АО «Волковгеология» и анализа материалов ранее проводимых работ. Общая территория проведенной съемки участка № 2 (Торткудук) составила 529 км<sup>2</sup>.

При оценке состояния окружающей среды и степени радиоактивного загрязнения за основу были приняты, действующие нормы и правила, руководящие документы, регулирующие вопросы оценки воздействия на окружающую среду и обеспечения радиационной безопасности. *Для определения фоновых значений мощности экспозиционной дозы (МЭД, в 2009 г. была произведена радиометрическая съемка на всей площади работ, как по отработанным (прошлых геологоразведочных работ), так и по проектным буровым профилям, а также в местах проходки шурфов. Природная или фоновая радиационная обстановка относится к естественной составляющей радиационного фона, и обусловлена естественным распространением радионуклидов в природе. В 2013 г. была проведена повторная радиометрическая съемка, как на участке детальной разведки, так и вне его пределов.*

В ходе проведенной радиометрической съемки повышений радиационного фона выявлено не было, все параметры соответствуют естественному фону. Природная радиационная обстановка является неотъемлемой частью составляющей радиационного фона и определена по участку работ на основе полученных данных радиометрической съемки, анализа и их обобщения. Основными радионуклидами, формирующими естественный радиационный фон, являются радионуклиды семейства радий-226, тория-232, калия-40. Их содержания в горных породах определяют содержания в почвах.

Числовые характеристики статистических параметров значений МЭД:

- в 2009 году минимальное значение - 0,08 мкЗв/час, максимальное значение - 0,22 мкЗв/час, среднее значение - 0,16 мкЗв/час, стандартное отклонение составило - 0,01. Вся территория участка имеет примерно одинаковые фоновые значения.
- в 2013 году минимальное значение 0,08 мкЗв/час, максимальное значение - 0,22 мкЗв/час, среднее значение - 0,16 мкЗв/час. Нужно отметить, что резких колебаний значений МЭД зафиксировано не было, это говорит о том что до разведки 2009 г. и после разведки 2013 МЭД не изменился. А это означает, что проведение геологоразведочных работ не привело к изменениям общей радиационной обстановки участка работ и доказывает, что при проведении буровых работ степень риска загрязнения земель минимальна. Возможные загрязнения могут иметь место только при возникновении нештатных ситуаций (аварии, случайных выбросов радионуклидов на поверхность), что в конечном счете может привести к локальным или точечным участкам радиоактивного или химического загрязнения, не оказывающим серьезного воздействия на общую радиационную и экологическую обстановку района работ.

Проведенная радиометрическая съемка на данной территории никаких радиоактивных аномалий не выявила, значения по U и Th не превышают Кларков для

данного региона. ПДК по As, Pb соответствует нормам, что в целом характерно для данной территории.

Загрязнения, относящиеся к антропогенному типу, имеют точечное распространение и какого либо значимого влияния на окружающую среду не оказывают.

Рекультивация буровых площадок по окончании поисково-разведочных работ, была проведена относительно удовлетворительно,

## РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для восстановления растительного покрова отработанных участков и предотвращения дальнейшего развевания песков рекомендуется проводить рекультивационные (фитомелиоративные) мероприятия.
2. После завершения добычи шламохранилища с высоким содержанием легко растворимых солей и обменного натрия следует засыпать песчаным материалом с проведением последующих фитомелиоративных мероприятий по восстановлению растительного покрова.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

По результатам проведенных работ по оценке окружающей среды на участке работ можно сделать следующие выводы:

1. Радиационный фон гамма - активности на участке работ не превышает фоновых значений.
2. Содержания тяжелых металлов не превышают предельно допустимых концентраций (ПДК) и являются фоновыми для всего региона.
3. Отмечаются загрязнения техногенного типа после проведения работ по детальной разведке и строительства опытного участка, которые носят локальный характер, и их площадь не превышает 0,5% территории. Также имеет место дорожная дегрессия почв, что обусловлено ранее проводимыми работами, а также текущей производственной деятельностью и площадь деградации составляет не более 1% общей площади территории.

Общая площадь поврежденных земель составляет не более 5-7%.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что участок работ в результате техногенного воздействия на окружающую среду, подвергся нарушениям в незначительной степени. Мониторинг состояния окружающей среды после относительно длительного периода, прошедшего с момента рекультивации на данной территории, подвергнутой различным нарушениям в ходе проведенных поисково-оценочных работ, показал, что ее компоненты способны восстанавливаться самостоятельно. Основываясь на данных фактах, в ходе производственной деятельности необходимо проведение мероприятий, ограничивающих некоторые виды антропогенного воздействия. Необходимо установить наблюдения за компонентами окружающей среды в режиме мониторинга. Не реже одного раза в три года, проводить мероприятия по оценке воздействия на неё в объемах, предусмотренных нормативными документами, законами и подзаконными актами.

При соблюдении всех правил и норм при проведении геологоразведочных работ и оперативном реагировании на возникновение нестандартных ситуаций, экологическая обстановка на отчетной территории ухудшаться не будет.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет «о результатах детальной разведки 17у, 18у, 9и+11и участка № 2 (Торткудук) Моинкумского уранового месторождения с подсчетом запасов». г. Алматы, 2013.
2. Отчет «о результатах детальной разведки участка Торткудук № 2 уранового месторождения Моинкум с подсчетом запасов». Алматы, 2004.
3. Информационный отчет «о радиоэкологических исследованиях при проведении детальной разведки на участке № 2 (Торткудук) и участке № 3 (Центральный) месторождения Моинкум» 2010 г.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1. 758-99. Алматы, 2000
5. Санитарно-гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности, 2003 г.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРИТИЯ И ГЕЛИЯ С ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ В УСЛОВИЯХ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

<sup>1</sup>И.Е. Кенжина, <sup>1</sup>Т.В. Кульсартов, <sup>1</sup>Е.В. Чихрай,  
<sup>2</sup>Ж.А. Заурбекова, <sup>2</sup>Ю.Н. Гордиенко, <sup>1</sup>В.П. Шестаков,  
<sup>1</sup>А.О. Муканова, <sup>1</sup>С.К. Аскербеков  
<sup>1</sup>НИИЭТФ КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, РК,  
<sup>2</sup>ИАЭ НЯЦ РК, г. Курчатов, РК

#### АБСТРАКТ

В работе представлена разработка методики расчета выделения трития и гелия образованных в результате реакции  $6\text{Li}(n,3\text{H})4\text{He}$  из приповерхностного слоя литий-содержащих материалов с помощью пакета GEANT4.

#### ВВЕДЕНИЕ

Выбор конструкционных материалов, способных выдержать условия термоядерных установок является актуальной проблемой. Такие установки первого поколения будут работать на дейтерий-тритиевом топливе. Оптимальным решением задачи наработки трития является его производство непосредственно в термоядерной установке, в бланкете, окружающем плазменную камеру реактора.

Использование литийсодержащих материалов в бланкете связано с тем, что под действием нейтронного облучения в литии нарабатывается тритий в результате реакции  $6\text{Li}(n,3\text{H})4\text{He}$ .

Существует два вида материалов, планируемых для использования в качестве материала бланкета: твердые литийсодержащие керамики и жидкие литийсодержащие материалы  $\text{Li}_2\text{BeF}_4$ ;  $\text{LiBeF}_3$ ;  $\text{FLiNaBe}$ ; свинцово-литиевая эвтектика  $\text{PbLi}$ .

Так как исследования, описывающие процессы взаимодействия трития и гелия с свинцово-литиевой эвтектикой в условиях облучения, очень немногочисленны, то существует проблема, связанная с выяснением механизмов, позволяющих описать процессы взаимодействия трития и гелия с литий-свинцовой эвтектикой в условиях нейтронного облучения [1-6].

#### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка методики расчета выделения трития и гелия из литийсодержащих материалов и также анализ, и моделирование процессов наработки и выделения ионов трития и гелия в литийсодержащих материалах.

Актуальность работы связана с обоснованием тритиевой безопасности ядерных и термоядерных установок и направлена на разработку расчетных моделей генерации и выделения трития из литийсодержащих материалов. Информация о параметрах и понимании физических механизмов, ответственных за накопление

и выделение трития и гелия, крайне необходима с точки зрения безопасности эксплуатации ядерных и термоядерных реакторов.

Принципы расчета следующие:

- 1) Оценка скорости наработки трития и гелия в литийсодержащих материалах;
- 2) Оценка миграции трития и гелия в системах ЯР и ТЯР;
- 3) Решение диффузионной задачи описывающей поведение и выход наработанного трития и гелия в литийсодержащих образцах;
- 4) Расчет основных параметров взаимодействия тритий-литий, гелий-литий;
- 5) Анализ, обсуждение и сравнение с экспериментальными данными.

Расчеты будут производиться на основе данных, полученных в результате моделирования реакторных экспериментов. Следующие программы были рассмотрены для моделирования физических процессов.

**MCNP (Monte Carlo N-Particle Transport Code)** — программа для моделирования процесса взаимодействия нейтронов, фотонов и электронов в материальных системах с использованием методов Монте-Карло. Разработана в Лос-Аламосской национальной лаборатории (Los Alamos National Laboratory) в США на языке программирования FORTRAN.

Программа моделирует взаимодействие частиц (нейтронов, фотонов и электронов) с веществом системы. Рассматриваются реакции рассеяния и захвата, а также деления ядер нейтронами. Генерирует источник вторичных частиц, образующихся в ядерных реакциях (нейтроны деления, фотоны, электроны) или при электрон-электронном взаимодействии.

Используется для решения задач в области физики ядерных реакторов, радиационной защиты, радиационной медицины.

MCNP версии 5 поддерживает платформы IRIX, DEC Alpha, AIX, SPARC, x86 (GNU/Linux и Microsoft Windows).

Код MCNP содержит в себе следующие возможности:

- Высокая точность вычислений.
- Поточечная аппроксимация сечений (при моделировании процесса учитывается каждое отдельное событие).
- Возможность непосредственно корректировать плоскости в процессе визуализации.

MCNP традиционно используется для нейтронно-физических расчетов, но для ее использования нужна лицензия. И в связи с этим, возникает потребность в изучении и адаптации свободно распространяемых программ для наших экспериментов. Поэтому был выбрана программа GEANT4 (GEometry AND Tracking).

GEANT4 - объектно-ориентированная библиотека программ на языке C++, включающая описание всех известных частиц и физических процессов, протекающих при взаимодействии излучения с веществом. Разработан в CERN в 1987 году. Из-

начально разрабатывался для физики высоких энергий. Состоит из следующих классов:

**Класс RunManager** отвечает за общую организацию процесса моделирования.

**Класс DetectorConstruction** используется для описания геометрии системы и используемых материалов.

С помощью **класса PhysicsList** указывают используемые частицы и взаимодействия между ними.

**Группа классов** обозначенная названием **UserActions** используется для доступа к информации о процессе моделирования на всех этапах:

**RunAction** – этап создания геометрии системы, используемых частиц и расчета таблицы сечений;

**PrimaryGenerationAction** – этап создания первичной частицы, именно здесь задается тип, начальное направление и энергия частицы;

**EventAction** – этап запуска/остановки первичной частицы, обычно используется для инициализации/сохранения гистограмм и первичного анализа;

**TrackingAction** – этап начала/конца создания трека частицы, позволяет получить информацию о треке частицы, например длину;

**SteppingAction** – самый низший уровень в иерархии, позволяет обрабатывать информацию о каждом шаге движения частицы.

Порядок работы с GEANT4 состоит в следующем: сначала составляется план эксперимента, изучаются основные свойства и характер взаимодействия экспериментальных частиц. Затем составляется программа на объектно-ориентированном языке C++, использующая библиотеки, входящие в состав GEANT4. После этого исходные тексты программ компилируются, программа выполняется, и происходит анализ полученных результатов. По мере анализа полученных данных в программу вносятся изменения, затем процесс повторяется до тех пор, пока не будут получены удовлетворительные результаты [4].

GEANT4 имеет следующие особенности:

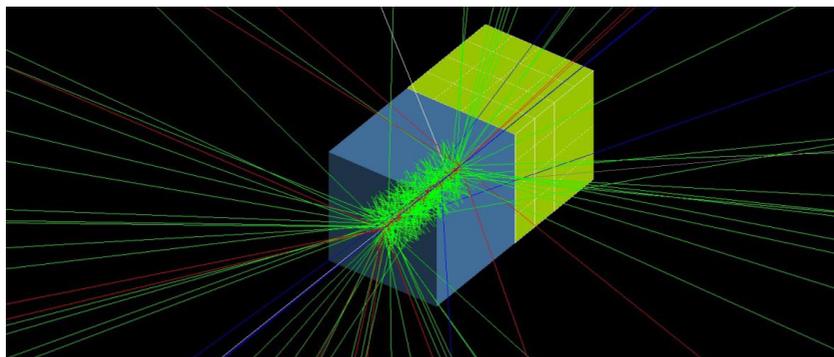
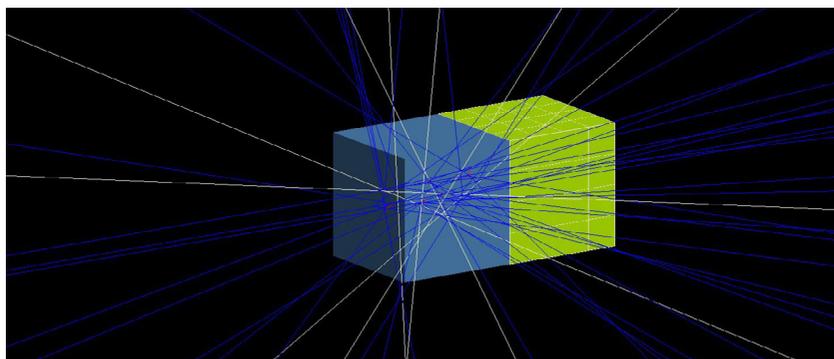
- простота создания геометрии объекта;
- возможность менять по необходимости отдельные модули и их содержимое (процессы, геометрия, первичные частицы, материал мишени, выходные параметры и т.д.) без изменения всей программы;
- возможность детальной визуализации единичных процессов с помощью дополнительных программ (OpenGL, HepRep, AIDA и др.);
- свободно распространяемый код (Open source software).

В связи со значительными преимуществами, было решено использовать GEANT4 для моделирования реакторных экспериментов.

Программа предназначена для работы в Unix подобных операционных системах. Была выбрана операционная система Linux Fedora 21, так как она является наиболее подходящей платформой для установки требуемых программ. После установки системы, был разработан механизм установки программы GEANT4:

1. Библиотека CLHEP;
2. Базы данных по сечениям взаимодействий;
3. Необходимые программы-пререквизиты;

4. Установка дистрибутива GEANT4;
5. Реализация визуализации с помощью OGL, OGLIX;
6. Графический интерфейс ROOT, AIDA.

Рисунок 1. Моделирование взаимодействия  $6\text{Li}(n,t)4\text{He}$  в GEANT4Рисунок 2. Моделирование взаимодействия  $9\text{Be}(n,\alpha)6\text{Li}$  в GEANT4

В результате работы над созданием модели было проведено моделирование реакций  $6\text{Li}(n,t)4\text{He}$ ,  $9\text{Be}(n,\alpha)6\text{Li}$  для образцов лития и бериллия (Рисунок 1, 2).

Было получено пространственное распределение ионов трития по всему объему образца (Рисунок 3).

К данному моменту было завершено следующее:

- включены все физические процессы;
- использовался реакторный нейтронный спектр;
- разработано сферическое распределение нейтронного источника;
- созданы тестовые модели для реакторных экспериментов;

Планируется промоделировать следующие реакторные эксперименты: по об-

лучению лития, свинцово-литиевой эвтектики  $\text{Pb}_{83}\text{Li}_{17}$ , литиевых капиллярно-пористых систем (CPS) проведенных в период 2000-2014 на реакторе ИВГ1.М в Курчатове.

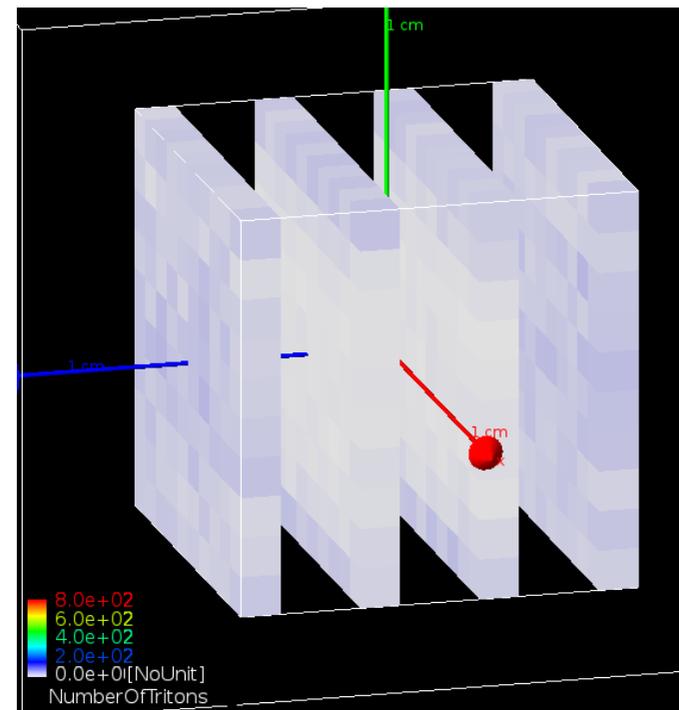


Рисунок 3. Пространственное распределение ионов трития по всему объему образца

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nishikawa, M., Baba, A., Odoi, S., Kawamura, H. Tritium inventory estimation in solid blanket system // Fus. Eng. Des.– 1998.– Vol. 39-40.– P. 615-625.
2. Nishikawa, M., Nakashima, N., Hashimoto, K., Beloglazov, S. Isotope exchange capacity on  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  and comparison of tritium inventory in various solid breeder blankets // J. Nucl.Sci.Tech.– 2001.– Vol.38, №11.– P. 944-951.
3. Kudo, H., Okuno, K. Tritium behavior in blanket system // J. Nucl. Mater.– 1988.– Vol. 155-157.– P. 524-529.
4. Malang, S., Mattas, R. COMPARISON OF LITHIUM AND THE EUTECTIC LEAD LITHIUM ALLOY, TWO CANDIDATE LIQUID METAL BREEDER MATERIALS FOR SELF-COOLED BLANKETS // Third International Symposium on Fusion Nuclear Technology, University of California at Los Angeles, June 27 - July 1, 1994.
5. Coen, V. Lithium-lead eutectic as breeding material in fusion reactors // J. Nucl. Mater.– 1985.– Vol. 133-134.– P. 114-118.
6. Elliott, J.A. W. and Ward, C.A. Temperature programmed desorption / J. A. W. Elliott, C. A. Ward // J. Chem. Phys.– 1997.– Vol. 106.– P. 13-18.

## ОТРАБОТКА РУДНЫХ ТЕЛ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ НА ВОСТОЧНОМ УЧАСТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЫНКУДУК

**И.Л. Колосов**  
ТОО «Степное-ПУ», РК

Эпигенетическое пластово-инфильтрационное месторождение урана Мынкудук локализовано в проницаемых песчаных отложениях Чу-Сарысуйской урановорудной провинции, и административно расположено в пределах южного региона РК.

Месторождение сформировано в нижнесредней части верхнемеловых отложений и контролируется границей выклинивания региональной зоны пластового окисления. Глубина залегания подошвы рудных тел изменяется от 220 (на востоке) до 430 м (на западе).

Рассматриваемый Восточный участок месторождения (участок работ) приурочен к пологому, неправильной формы поднятию, отделяемому от остальной части месторождения зоной Мынчукурского разлома северо-западного простирания. Глубины подошвы рудных тел варьируют в пределах 220-280 м, увеличиваясь в северо-западном направлении.

В геологическом строении выделяются три структурных этажа:

**Складчатый фундамент (PR<sub>1,2</sub> – PZ<sub>1</sub>)** залегает на глубине более 2 км. Кристаллические образования фундамента представлены двуслюдяными полевошпат-кварцевыми сланцами. Помимо этого, в составе складчатого фундамента распространены кембрийские (Є) и ранне-среднеордовикские (O<sub>1,2</sub>) терригенные образования, прорванные раннепалеозойскими основными и ультраосновными интрузиями.

**Промежуточный структурный этаж (ПСЭ)** залегает под рыхлым чехлом, и представлен комплексом слабодислоцированных субплатформенных осадочных формаций.

В основании разреза – фаменская (D<sub>3fm</sub>) терригенно-галогенная красноцветная формация, которая повсеместно перекрывается отложениями раннекаменноугольной (C<sub>1v</sub>) морской терригенно-карбонатной формации, в составе которой преобладают сероцветные известняки, песчаники, алевролиты и аргиллиты. Выше, с угловым несогласием, залегают континентальные отложения джезказганской (C<sub>2,3dg</sub>) и жиделисайской (P<sub>1gd</sub>) свит. В составе обеих свит преобладают красноцветные осадочные отложения.

**Мезозойско-кайнозойский структурный этаж (платформенный чехол)**

На Восточном участке подразделяется на два комплекса: мел-палеогеновый – платформенный, неоген-четвертичный – платформенно-суборогенный.

Мел-палеогеновый платформенный комплекс. Представлен континентальными терригенными отложениями позднего мела; континентальными и морскими образованиями палеоцена и эоцена.

**Поздний мел - нижний палеоцен (K<sub>2</sub> - P<sub>1</sub><sup>1</sup>)**

Образования позднего мела несогласно залегают на размытой поверхности ПСЭ. Подразделяются на три самостоятельных горизонта: мынкудукский (ранний турон) K<sub>211</sub>(mk), инкудукский (поздний турон-сантон) K<sub>212-st</sub>(in) и жалпак-бюртускенский (сантон-нижний палеоцен) K<sub>2st</sub> - P<sub>1</sub><sup>1</sup>(gp+bt).

Мынкудукский горизонт является основным рудовмещающим горизонтом. Сформировался в пределах аллювиальной системы и близмеридианальной ориентировкой речных потоков.

Представлен пачкой сероцветных и пестроцветных аллювиальных, реже озерно-аллювиальных отложений. Подразделяется на два подгоризонта: нижний – представленный стрежнево-русовыми гравийными песками, которым подчинены прослой гравия, нередко с галькой, песчаных глин и алевропеллитов; верхний – где преобладают мелко-среднезернистые зеленоватые пески, прослой зеленых и серых глин. Подгоризонты, в свою очередь, состоят из двух-трех (частками и более) элементарных циклов (ритмов), которые, как правило, начинаются разнозернистыми песками с гравием и галькой и заканчиваются средне- и мелкозернистыми песками или алевроглинистыми образованиями.

Мощность горизонта на участке работ – 40-50 м.

Инкудукский горизонт. С размывом залегает на отложениях мынкудукского горизонта. Отличается грубозернистым составом и низкой степенью сортировки материала. В разрезе выделяют три цикла. Породы горизонта подвергнуты региональному «глеевому» восстановлению. Мощность горизонта от первых метров до 100-120 м, на Восточном участке – 40-45 м.

Жалпак-бюртускенский горизонт. С перерывом залегает на инкудукском горизонте. Представлен преобладанием песчаных аллювиальных образований. Подразделяется на два подгоризонта: жалпакский (нижний) и бюртускенский (верхний), общей мощностью до 40-45 м. В составе жалпакского подгоризонта преобладают серые разнозернистые косослоистые полевошпат-кварцевые пески с примесью гравия, гальки, линзы и прослой серых и темно-серых глин. Бюртускенский подгоризонт представлен преимущественно первично красноцветными, иногда горчично-бурыми разнозернистыми и мелкозернистыми песками с прослоями пестроцветных глин и известковистых песчаников.

**Палеоген (P<sub>1</sub><sup>2</sup> – P<sub>2</sub><sup>3</sup>)**

На Восточном участке представлен только морскими и прибрежно-морскими отложениями интымакского горизонта (P<sub>2</sub> 2-3 im), являясь верхним региональным водоупором Чу-Сарысуйского артезианского бассейна. По составу: глины зеленовато-серые, серые, голубовато-зеленые. Мощность отложений 45-50 м.

**Неоген-четвертичный комплекс**

Залегает на отложениях позднего эоцена с размывом и угловым несогласием. Выделяются два подкомплекса: платформенный миоцен-среднеплиоценовый

и платформенный четвертичный. По составу: глины, пески и их переходные разновидности.

**В тектоническом отношении**, месторождение Мынкудук сформировано в Сарысуйской моноклизе, осложненной системой локальных пологих поднятий типа брахиантиклиналей и «структурных носов». Разрывные нарушения развивались конседиментационно, оказывая влияние на накопление осадков в туроне и сеноне. Интенсивность нарушений резко падает вверх по разрезу. На площади участка не оказывают какого-либо заметного влияния.

Блоково-пликативные и разрывные нарушения на месторождении являются платформенными конседиментационными и, во всех случаях, дорудными.

### ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Мынкудукский рудный район располагается в пределах Чу-Сарысуйского артезианского бассейна, приуроченного к одноименной депрессии. В разрезе мезо-кайнозойского чехла выделяются два водоносных комплекса: комплекс грунтовых вод в неоген-четвертичных отложениях и комплекс артезианских и напорных вод в позднемеловых и палеоцен-эоценовых горизонтах.

Неоген-четвертичный комплекс грунтовых вод. Характеризуются пестрым составом подземных вод и широким диапазоном минерализации. На территории района преобладают слабо-солончатые, хлоридно-сульфатные натриевые воды, хотя и они под современными озерными котловинами нередко сильно минерализованы. Питание и гидродинамика комплекса грунтовых вод определяется поверхностными стоками.

Комплекс артезианских напорных вод. Выделяется два подкомплекса: палеоцен-эоценовых и позднемеловых отложений, разделенных между собой относительно выдержанной пачкой алевритоглинистых пород. Региональным нижним водоупором для рудовмещающего водоносного комплекса меловых отложений являются палеозойские осадочные породы ПСЭ. Мынкудукский и инкудукский продуктивные горизонты выдержанными глинистыми водоупорами не разделяются, в то время как жалпакский горизонт обычно отделяется от нижележащих водоносных песков песчано-глинистыми или глинисто-гравийными прослоями. Региональным верхним водоупором для всего комплекса служат морские глины интымакского горизонта. Все воды комплекса являются напорными.

Месторождение Мынкудук расположено на высоком северо-восточном крыле Западно-Чу-Сарысуйского артезианского бассейна, в зоне влияния, в основном, двух потоков: «чуйского» и «таласского». На площади месторождения в меловых горизонтах распространены воды – сульфатно-хлоридные натриевые с минерализацией 3,3-6,1 г/л. Основной рудовмещающий водоносный мынкудукский горизонт с вышележащим инкудукским горизонтом образуют единую пьезометрическую поверхность, которая устанавливается на отметках 60-85 м от поверхности земли с увеличением на запад. Направление движения подземных вод с юго-востока на северо-запад.

### ХАРАКТЕРИСТИКА УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ВОСТОЧНОГО УЧАСТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЫНКУДУК

В пределах Восточного участка месторождения выделено две залежи рудных тел.

**Залежь 1.** В плане имеет форму асимметричного «ролла», передовая часть которого представляет собой сложное сочетание расположенных на разных уровнях мынкудукского горизонта рудных тел. Ширина максимального раздува этой части – 1,7 км. Отмечается значительная изрезанность контура залежи в плане. Восточное крыло, постепенно сужаясь, прослеживается в широтном направлении и выклинивается. Западное – представлено узким (100-250 м) отрезком рудоносной полосы, ориентированной на юго-восток и сливающимся с залежью 2, с которой образует единое клиновидное окончание. В поперечных разрезах отмечаются простые и сложные ролловые формы рудных тел, связанных с выклиниванием передового языка ЗПО в нижней и средней частях горизонта. При этом мощность мешковых частей изменяется от 5 до 24 м, а крыльевых – от 3 до 9 м. Залежь 1, помимо главного роллового тела, включает подчиненные тела, приуроченные к сероцветным отложениям нижней части горизонта, а также представленные отторгнутым верхним крылом.

**Залежь 2.** Связана с северо-восточной границей крупного языка окисления, развитого вдоль зоны Мынчукурского разлома. В плане – это протяженное, близко к линейному рудное тело, которое на юго-востоке сливается с залежью 1, в северо-западной части, на участке сочленения Мынчукурского и Арандинского разломов, замыкается с резким изменением ориентировки с близширотной на юго-восточную. Залежь состоит из главного роллового тела и нескольких подчиненных тел. Ширина залежи варьирует от 75-100 м (при простых ролловых телах) до 300-500 м (в юго-восточной части залежи, при слиянии двух встречных роллов) и до 350-550 м (на северо-западном участке замыкания залежи). В поперечных разрезах выделяется разнообразие морфологических форм: от простых роллов с короткой и достаточно мощной (15-21 м) мешковой частью и утолщенными (до 9 м), но не протяженными крыльями, сдвоенными встречными роллами, роллами с удлиненной мешковой частью (на северо-западном замыкании залежи), мощностью 5-20 м; останцовыми (отторгнутое верхнее крыло) и другими сателлитными телами.

Положение рудных залежей относительно водоупоров варьирует в широких пределах: от залегания рудных тел непосредственно на нижнем водоупоре до их локализации в верхней части продуктивного горизонта (так называемые «подвешенные руды»).

**Минералогический состав руд.** Урановые руды от рудовмещающих пород, как правило, не отличаются, за исключением их относительно богатых разновидностей с видимой урановой минерализацией. Песчано-гравийные отложения, пески мелко-среднезернистые являются полевошпат-кварцевыми. Обломочный материал состоит из кварца (70-86%, иногда до 92%), полевых шпатов (7-18%), обломков кремнистых пород, мусковита и биотита, углистого детрита, желваков песчаников с пиритовым, реже сидеритовым и баритовым цементом. Акцессорные минералы – (в среднем 0,1%. Поровый наполнитель – рыхлый каолинит-монтмориллонитовый

глинисто-алевролитовый материал (5-20%), в котором значительное место принадлежит тонкодисперсному кварцу.

Условия локализации уранового оруденения и его качество в значительной мере определяются геохимическим типом пород:

- диагенетически восстановленные пески, глины, алевропелиты, содержащие углефицированные растительные остатки. Приурочены преимущественно к нижнему подгоризонту. Среднее содержание железа около 1% (0,35-2,05%), доля сульфидного железа, в среднем, равна 0,09%. Содержание Сорг. меняется от 0,021 до 0,098% (среднее – 0,04%),  $CO_2$  – 0,1-0,3%. Наиболее благоприятны для уранонакопления;
- зеленые, зеленовато-серые, зеленовато-белесые диагенетически и эпигенетически восстановленные пески, глины, алевропелиты. Диагенетически восстановленные породы могут содержать тонкорассеянные остатки углефицированной органики. Эпигенетически восстановленные под воздействием глеевых процессов породы чаще более крупнозернистые и более проницаемые. В разрезе преобладают в составе верхнего подгоризонта. Мало благоприятны для уранонакопления;
- первично окисленные красноцветные и пестроцветные отложения, не подвергнутые эпигенетическому восстановлению. Среднее содержание железа около 4% с преобладанием трехвалентной формы (свыше 2%). Не благоприятны для уранонакопления;
- эпигенетически окисленные (главным образом проницаемые) породы. Не подвержены уранонакоплению.

По минеральному составу руды месторождения являются коффинит-настурановыми: 50/50%). Уран накапливается в межзерновом поровом пространстве рыхлого глинисто-аливритового заполнителя песчаных и гравийно-песчаных руд, образуя вместе с насыщающей поры водой единую, весьма неустойчивую систему. Очень малая доля урана (сотые доли процента) концентрируется в углистом растительном детрите. По содержанию урана преобладают бедные и убогие руды (0,02-0,10%), реже рядовые (0,10-0,30%). Руды месторождения силикатные, бескарбонатные (содержание  $CO_2$  – десятые доли процента), редко слабо карбонатные (2-4%), в виде локальных маломощных спорадически развитых линз. Низкое содержание Сорг. (обычно 0,04-0,05%). Руды маложелезистые: среднее содержание валового железа обычно не более 1% (при средней доле сульфидного – 0,07%).

Разработка Восточного участка месторождения осуществляется способом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ).

## ОТРАБОТКА РУДНЫХ ТЕЛ

### КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СООРУЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

Конструкции технологических скважин разработаны исходя из экономической целесообразности с учетом:

- геолого-гидрогеологических условий (мощности рудных тел, коэффициентов

- фильтрации, пьезометрического уровня, максимальных дебитов и приемистости скважин и других);
- приборов и методов геофизических исследований скважин;
- сроков эксплуатации.

Техническим решением является:

- средняя длина фильтровых колонн – 10 м;
- наружный диаметр фильтровых колонн – 118 мм;
- средняя приемистость закачных скважин – 5 м<sup>3</sup>/ч;
- средний дебит откачных скважин – 10 м<sup>3</sup>/ч.

**ПРИМЕЧАНИЕ:** при соотношении количества закачных скважин к откачным (в эксплуатационной ячейке) равном 2 (двум), и максимальной средней приемистости закачных скважин равной 5 м<sup>3</sup>/ч – расчетный дебит откачных скважин принимается равным 10 м<sup>3</sup>/ч.

### ПРИМЕНЯЕМЫЕ СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ВСКРЫТИЯ РУДНЫХ ТЕЛ

Традиционно, на месторождении применяются и линейная, и ячеистая системы вскрытия запасов технологических блоков, а также их комбинация.

Линейная система расположения скважин состоит из последовательно чередующихся рядов откачных и закачных скважин с продольным или поперечным расположением этих рядов. При этом элементарная ячейка состоит из трех скважин: двух закачных и одной откачной, принадлежащих к трем последовательно расположенным рядам.

На месторождении применяются линейные системы вскрытия с однорядными, трехрядными (приложение 1, 2), и многорядными (приложение 3, 4), схемами отработки.

Однорядная схема отработки. В классическом варианте на месторождении не использовалась. Применялась трансформированной под трехрядную схему с шириной рудных тел до 40-60 м в виде субячеистой системы со схемой вскрытия в форме вытянутых продольных (по простиранию рудного тела) прямоугольников, где в центре прямоугольника сооружается откачная скважина.

Для сравнительно узких залежей, шириной до 120-150 м, применяется трехрядная схема преимущественно продольного варианта системы отработки.

Для широких, шириной рудной полосы более 150 м и изометрических в плане рудных залежей, применяется многорядная схема отработки с поперечным или продольным расположением рядов.

**ПРИМЕЧАНИЕ:** различное влияние расположения схем вскрытия по простиранию или в крест простирания рудных тел (по потоку или в крест рудообразующему потоку) на процесс отработки, не отмечено.

**Ячеистая система** расположения скважин состоит из массива примкнутых друг к другу элементарных ячеек скважин, где в центре ячейки откачная, а по периметру ячейки – закачные скважины. При этом по количеству закачных скважин, ячейки могут быть три – тетра – пента – гекса – полигональные.

На месторождении, преимущественно, используется гексагональная схема вскрытия рудных тел (приложение 5, 6).

**Комбинированная система** расположения скважин состоит из комбинации линейных и ячеистых систем вскрытия продуктивных горизонтов. Применяется на рудных телах, имеющих сложную в плане геометрию рудных тел, изменчивую и неравномерную продуктивность и другие осложняющие факторы.

### ИНТЕРВАЛЫ УСТАНОВКИ ФИЛЬТРОВЫХ КОЛОНН

Наименее прогнозируемая область процесса ПСВ. Зависит от геолого-гидрогеологических условий:

- однородности литологического состава вмещающих пород и руд;
- анизотропии фильтрационных свойств по напластыванию и в крест напластывания осадков;
- гравитационного опускания выщелачивающих растворов;
- наличия водоупоров, удаленность от водоупоров;
- коэффициента использования фильтровых колонн и других.

Практика отработки рудных тел на Восточном участке месторождения подсказывает:

1. учитывая неоднородность оруденения, в процесс вскрытия запасов технологических блоков следует планировать объемы горнорудной массы (ГРМ технологического блока) с продуманной системой установки фильтровых колонн, а не следовать спорадическому вскрытию рудных интервалов (зон локализации рудных тел – ЗЛРТ).
2. лучшая проработка межскважинного объема рудной массы осуществляется при установке фильтровых колонн в системе «закачная скважина – откачная скважина» на одном уровне, т.е. по линиям прямого тока;
3. при установке фильтровых колонн следует учитывать гравитационное опускание выщелачивающих растворов, которое на нашем месторождении (в среднезернистых песках) составляет в среднем 20 см/сут.;

**ПРИМЕЧАНИЕ:** истинная скорость фильтрации технологических растворов при эксплуатации технологических блоков составляет 1,5-2,0 м/сут.;

4. установка фильтровых колонн закачных скважин (верхняя граница фильтровой колонны) должна устанавливаться выше или (при отсутствии оруденения) на одном уровне с верхней границей фильтровой колонны откачной скважины;
5. при установке фильтровых колонн в перемежаемых разнородных прослоях пород, в работу активно включаются прослои с большими коэффициентами фильтрации (в грубозернистых осадках), которые обеспечивают необходимый дебит откачных скважин;

6. длина фильтровой колонны должна определяться не только мощностью зоны локализации рудного тела (далее – ЗЛРТ), но и литологическим составом пород; в наших условиях не следует увеличивать длину фильтровой колонны более 10-12 м.;

**ПРИМЕЧАНИЕ:** зона локализации рудных тел – это мощность рудного тела с прослоями безрудных пород: от верхней границы верхнего рудного интервала до нижней границы нижнего рудного интервала, включая прослой безрудных пород;

7. при мощности рудных интервалов более 14 м, вскрытие технологических блоков следует планировать в два и более ярусов, с установкой фильтровых колонн на каждый ярус отдельно.

### УСТАНОВКА ФИЛЬТРОВЫХ КОЛОНН В РУДНЫХ ТЕЛАХ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

1. В зависимости от мощности ЗЛРТ, максимального исключения разубоживания продуктивных растворов пластовой водой, длины фильтровых колонн могут варьировать от 4 до 12 м.
2. При мощности ЗЛРТ – до 4 м – минимальная длина фильтровой колонны составляет 4 м, при этом – возможна замена раствороподъемного оборудования.
3. При мощности ЗЛРТ – более 4 м до 12 м – минимальная длина фильтровой колонны должна быть сопоставима с ЗЛРТ, при необходимости делается гравийная обсыпка прифильтровой зоны.
4. При мощности ЗЛРТ – более 14 м, и вскрытия блоков в два и более ярусов – суммарная длина фильтровых колонн должна быть сопоставима с ЗЛРТ, при необходимости делается гравийная обсыпка прифильтровых зон.

**ПРИМЕЧАНИЕ:** длина фильтровой колонны менее 4 м (например – 2 м) – экономически не оправдано.

5. На предприятии разработана инструкция по установке фильтровых колонн, применимо к условиям Восточного участка месторождения Мынкудук, где оговариваются различные варианты по установке фильтровых колонн в зависимости от геолого-гидрогеологических и других условий.

Особенности отработки рудных залежей на Восточном участке месторождения Мынкудук:

1. В объем технологического блока включаются как рудные, так и вмещающие породы, которые прорабатываются в одном режиме.
2. При отработке рудных тел большой мощности, вскрытие осуществляется в два и более ярусов.
3. При двух и более ярусах оруденения (разноуровневых геологических блоков – один над другим), вскрытие и включение в отработку блоков осуществляется одновременно, если нет отрицательного влияния работы одного блока на другой.

В случае возможного действенного влияния одного из блоков на другой (как пра-

## ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАПАСОВ РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ПЕРИФЕРИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СЕВЕРНЫЙ И ЮЖНЫЙ КАРАМУРУН»

Курманов Г.К., Байназаров Б.

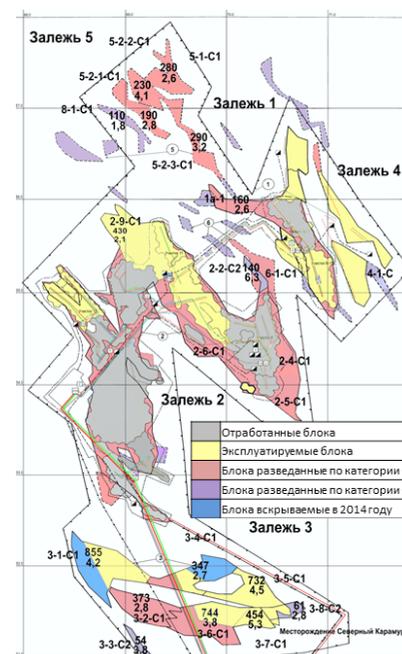
ТОО «РУ-6», Кызылординская область, п.Шиели, РК

- вило, нижнего блока на верхний), включение в добычу этих блоков осуществляется в два этапа: на первом этапе – верхний блок, на втором – нижний.
4. Вскрытие запасов геологического блока технологическими блоками, необходимо предусматривать одновременно, или последовательно, начиная от края геологического блока. Вскрытие с середины блока и его опережающее включение в отработку, как правило, ведет к ускоренной отработке до заданной степени извлечения металла (за счет законтурного рудного объема), и в дальнейшем, зачастую, не достигается проектная степень извлечения металла с соседних блоков.
  5. В процессе отработки технологических блоков прослеживается тенденция, что мешковые части роллов рудных тел обрабатываются медленнее, чем крыльевые. Наилучшие результаты отработки (сроков и степени отработки) достигаются на нижних крыльях ролловых рудных тел, лежащих на водоупоре.
  6. Отработка верхних крыльев ролловых рудных тел сопряжена с потерей продуктивных растворов в нижележащие породы, имеющие большой коэффициент фильтрации.
  7. Средний срок отработки запасов технологических блоков (при проектной степени извлечения 90%) составил 39 месяцев. Средняя величина отношения Ж/Т составила 1,7.
  8. Применение окислителя (пероксида водорода) не дало видимых улучшений в процессе извлечения металла. Лишь отмечалось незначительное повышение концентрации металла в мешковых частях рудных тел. Применение окислителя никоим образом не заменяет расход кислоты, а наоборот, требует жесткого режима поддержания заданной кислотности (для исключения выпадения железа и кольматации пласта).
  9. Наилучшие и стабильные результаты отработки получены при применении пассивного режима закисления запасов технологических блоков.
  10. Контрольным бурением на технологическом блоке 9-1 (сроки отработки 2003-2006 годы), получены результаты (по данным КНДм):
    - максимальная проработка ГРМ и выщелачивание урана приурочено к закачным скважинам;
    - меньшая степень проработки ГРМ и выщелачивания урана приурочена к откачным скважинам, при этом четко отслеживается, что выщелачивание урана вдоль длины фильтровой колонны максимально выполнено (около 100%) в нижней ее части, установленной в грубозернистых, песчано-гравийных осадках. Минимально, или не отработано полностью – в верхней части, приуроченной к мелко-среднезернистым структурам песков. При этом, в полевых условиях, по керну, определено слабое закисление этих мелко-среднезернистых песков (что подтверждается аналоговой диаграммой индукционного токового каротажа).

10 лет назад в системе АО НАК «Казатомпром» действовало всего лишь три добывающих предприятия:

- Степное Рудоуправление;
- Центральное Рудоуправление;
- Шестое Рудоуправление.

В тот период времени «Шестое Рудоуправление», в отличие от смежных предприятий, добывало металл с глубин 500-700 метров, при статическом уровне подземных вод на уровне 10-15 метров. Повсеместное присутствие в рудном горизонте значительного количества мелкозернистого песка переходящего в пылеватую форму, наличие промежуточных рваных водоупоров, блоков с содержанием карбонатов в рудовмещающих породах до 1,8% (при среднем содержании карбонатов по месторождению 0,5%) и не выдержанность (струйность и линзовидность) самих рудных тел, создавало и создает огромные проблемы при ведении процесса добычи металла способом подземного скважинного выщелачивания.



Обзорная схема месторождения «Северный Карамурун»

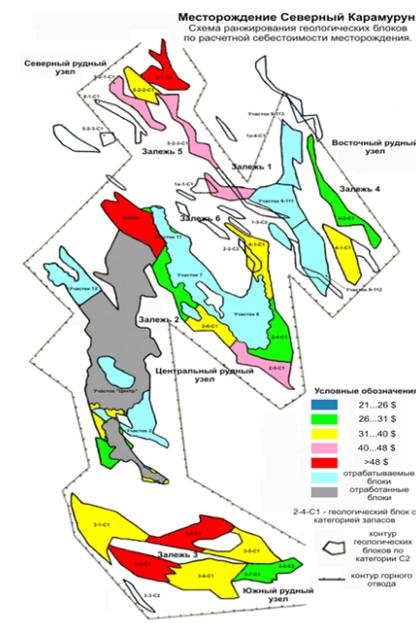


Схема ранжирования/районирования геологических блоков по расчетной себестоимости месторождения «Северный Карамурун»

На обзорной схеме месторождения Северный Карамурун видно, что центральная часть месторождения отработана, та что закрашена серым цветом. На сегодня в эксплуатации находится часть геологических блоков залежей № 2, 3, 4, которые закрашены на схеме в желтый цвет.

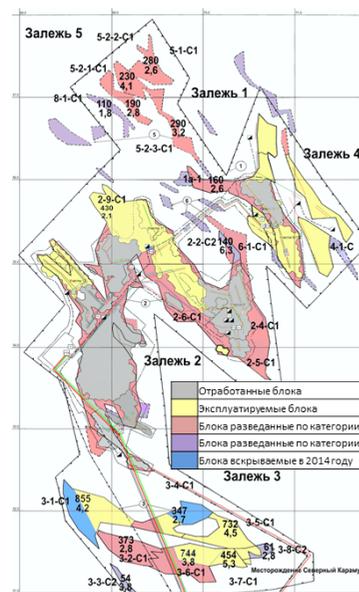
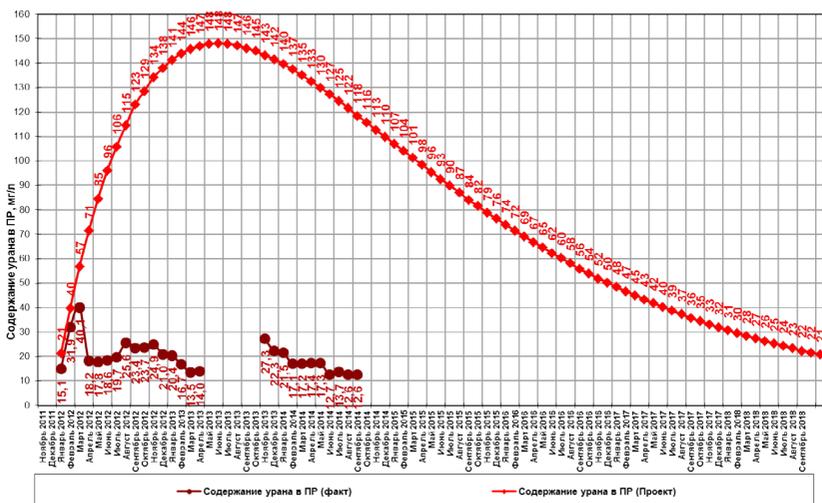
Не освоенными остаются запасы:

- Геологическая залежь № 5 отдалённой от УППР на расстояние 4...5 км, для освоения которой необходимо сооружение центральной автодороги, линии электропередач, коллекторов ПР и ВР, кислотопровода и блочного склада серной кислоты, кроме этого средняя продуктивность залежи № 5 составляет 2,8 кг/м<sup>2</sup>, что в итоге приведет к увеличению затрат на подготовку и добычу металла.
- Геологические блоки расположенные на периферийных частях залежи № 2. Освоение периферийных частей месторождения Северный Карамурун затруднено сложным геологическим строением рудных тел. При их отработке следует ожидать не подтверждения запасов на стадии вскрышных работ, а так же отклонения выходных эксплуатационных параметров технологических блоков (низкие дебиты технологических скважин и не высокие содержания урана в ПР).

Из схемы районирования геологических блоков по расчетной себестоимости видно, что:

За 30 летний срок эксплуатации месторождения Северный Карамурун, блоки с наименьшей расчётной себестоимостью были отработаны; не освоенными остаются блоки с расчётной себестоимостью 40-48 \$ и выше за 1 фунт урана, которые расположены на периферии и сложны в отработке. Продуктивность вскрываемых блоков снизилась за время эксплуатации с 8 кг/м<sup>2</sup> до 1,8...3,2 кг/м<sup>2</sup>, что приводит к снижению содержания урана в ПР и при неизменной добыче 1000 тонн в год идет рост парка эксплуатируемых скважин. Все вышеперечисленные факторы приводят к увеличению себестоимости добычи металла.

График отработки блоков находящийся на периферийной части месторождения Северный Карамурун. Залежь 2. Технологический блок ОТП-2011г.



Обзорная схема месторождения «Северный Карамурун»

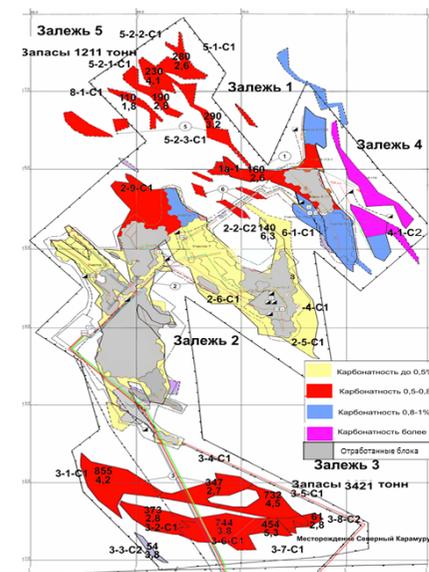
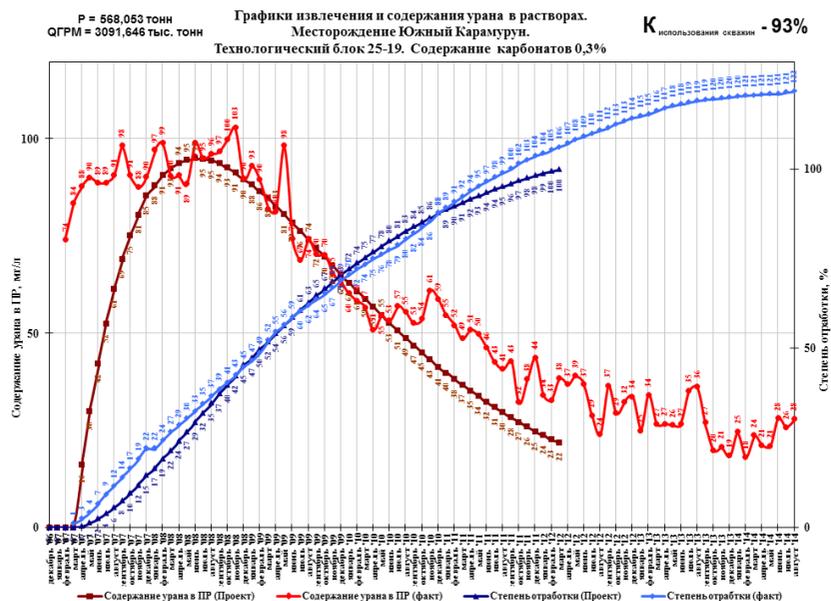


Схема разбивки блоков месторождения «Северный Карамурун» по содержанию карбонатов рудовмещающих пород

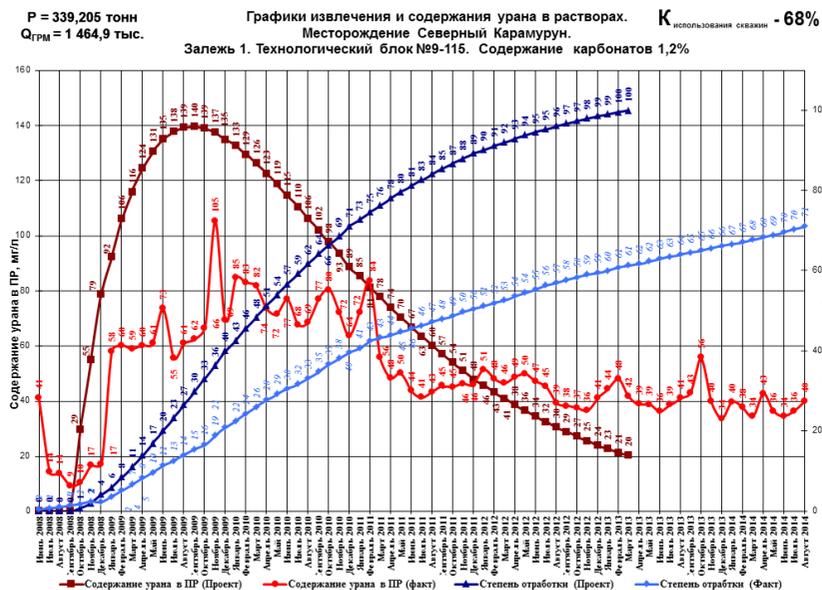
В 2011 году на базе ТОО «РУ-6», совместно с ТОО «ИВТ» была проведена попытка решения данной проблемы. Но в связи с ограниченным финансированием на месторождении Северный Карамурун был сооружен и введен в эксплуатацию только опытно-технологический блок (ОТП), хотя на предварительном рассмотрении, в перспективе развития, планировалось создание научно-исследовательской базы по усовершенствованию, разработке и внедрению в производство технологий и оборудования для эффективной эксплуатации месторождений методом ПСВ.

Эксперимент показал, что освоение запасов расположенных на периферии геологических залежей повышает степень риска выполнения производственных программ, так как фактические содержания урана в ПР могут быть ниже проектно-расчетных значений до 5 раз. Однако вопрос о достижении, в данной ситуации, (не подтверждение вскрываемых запасов, повышенная карбонатность) проектных показателей эксплуатации остался открытым и решение можно будет найти при создании и проведении опытно-натурных работ.

На схеме разбивки блоков месторождения Северный Карамурун по содержанию карбонатов рудовмещающих пород видно, что блока с низким содержанием карбонатов в рудовмещающих породах 0,3-0,5%, отработаны, либо находятся в эксплуатации. За последние пять лет в эксплуатацию вовлечены блока с высоким содержанием карбонатов в рудовмещающих породах 1,1...1,8% и отработка таких блоков несёт затяжной характер и приводит к увеличению эксплуатационных затрат и соответственно себестоимости добытого урана.



Представлен график отработки технологического блока 25-19 с содержанием карбонатов рудовмещающих пород 0,3%. Из графика видно, что фактическое содержание урана в ПР и фактическая степень отработки соответствуют расчетно-проектным значениям. Коэффициент использования откачных скважин составляет 93%.



Представлен график отработки технологического блока 9-115 с содержанием карбонатов рудовмещающих пород 1,2%. На графике видно, что фактическое содержание урана в ПР и фактическая степень отработки ниже расчетно-проектных значений в 2 раза. При этом коэффициент использования откачных скважин составил 68%.

Отсюда следует, что вопрос поиска оптимальных систем отработки блоков с высоким содержанием карбонатов в рудовмещающих породах и эффективных методов ремонтно-восстановительных работ, не взирая на 30 летний опыт эксплуатации месторождения Карамурун, остается открытым.

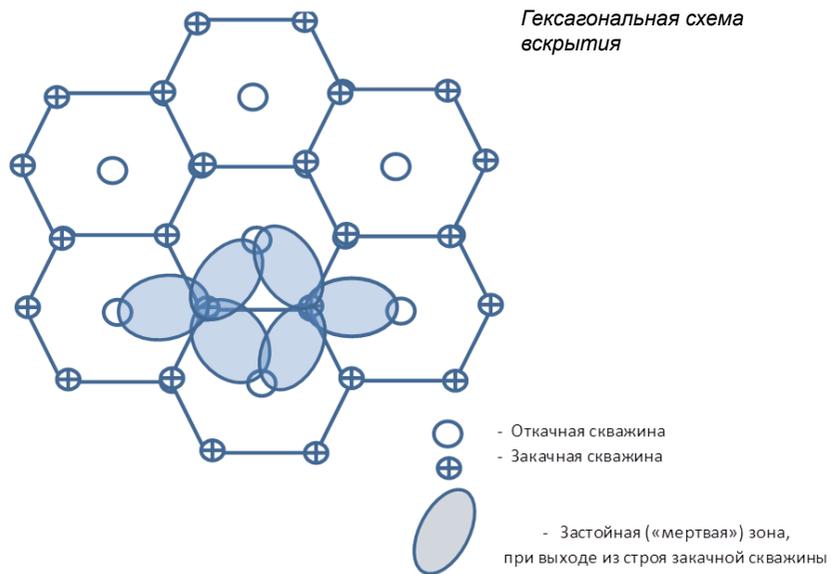
Таблица 1. Влияние низких продуктивностей вскрываемых блоков на среднее содержание урана в ПР в целом по цеху Карамурун

Категория блоков	Показатели	ед. изм.	План 2013 год
ГПР	Объем ПР	м <sup>3</sup>	3463,8
	Содержание U в ПР	мг/л	40,9
	Добыча U	Тонн	137,543
Действующий полигон	Объем ПР	м <sup>3</sup>	22060,9
	Содержание U в ПР	мг/л	40,3
	Добыча U	Тонн	862,457
Итого по цеху Карамурун	Объем ПР	м <sup>3</sup>	25524,7
	Содержание U в ПР	мг/л	40,4
	Добыча U	тонн	1000,0

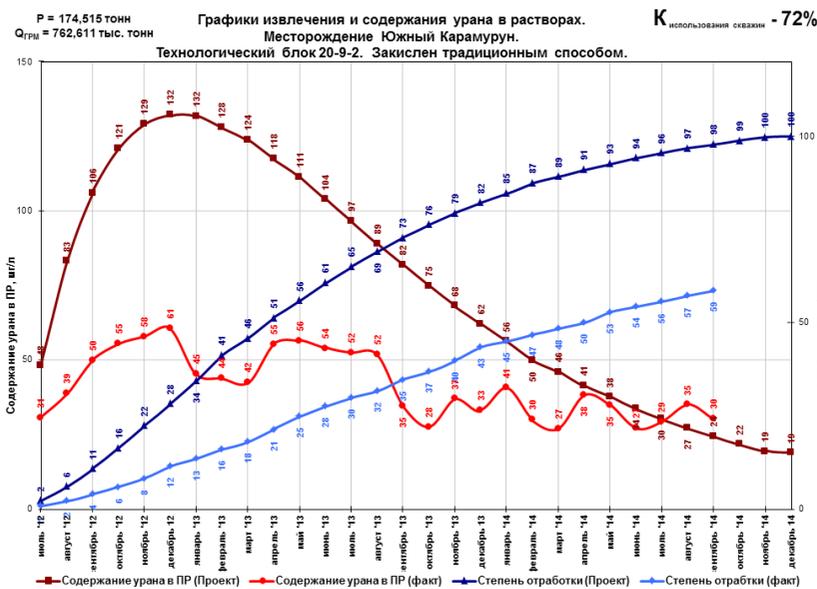
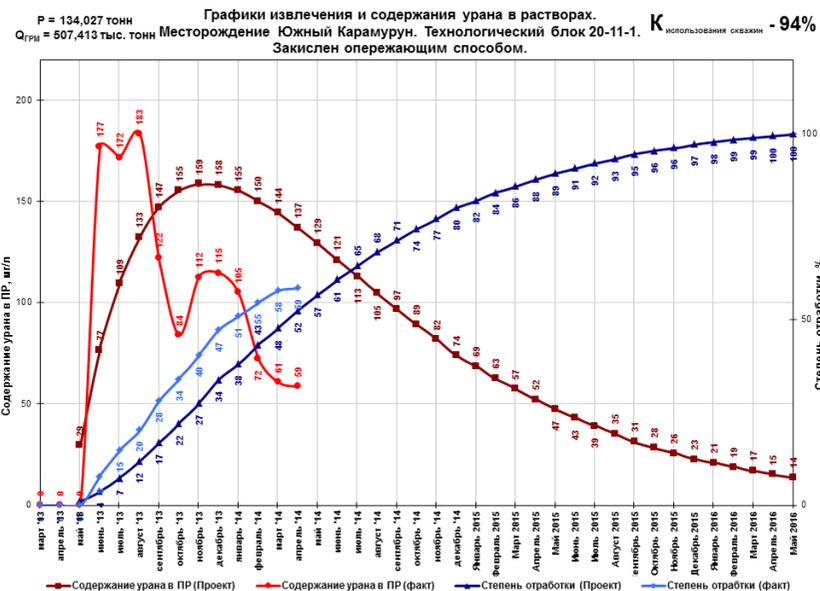
Невысокое содержание урана в растворах с технологических блоков имеющих низкие продуктивности в пределах 1,8...3,6 кг/м<sup>2</sup>, ввод в эксплуатацию блоков с высоким содержанием карбонатов в рудовмещающих породах, вскрываемые в последние периоды, приводят к снижению содержания урана в ПР в целом по цеху Карамурун. Так в 2013 году, средняя продуктивность вскрываемых и вовлекаемых в добычу блоков лежит в пределах 3,4 кг/м<sup>2</sup>, со среднегодовым плановым содержанием урана в ПР 40,9 мг/л, что соответствует среднегодовому содержанию урана в ПР действующего полигона 40,3 мг/л. В итоге в целом по цеху Карамурун среднегодовое плановое содержание урана в ПР 2013 года составило 40,4 мг/л. Все это приведет и приводит к увеличению затрат на текущую эксплуатацию.

**ОПЫТ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНЫЙ И ЮЖНЫЙ КАРАМУРУН**

В период 2000-2002 года изучали преимущество и недостатки гексагональной и рядной схем вскрытия. Пришли к выводу, что рядная схема вскрытия более приемлемая для эффективной отработки блоков в условиях месторождения Северный и Южный Карамурун. При гексагональной схеме вскрытия вывод из эксплуатации одной внутриблочной закачной скважины, приводит к выпадению из проработки 16,6% объема ГРМ по ячейке, а с учетом работы данной закачной скважины на 3 откачные скважины, суммарный эффект образованной «мертвой» зоны составит 49,8% объема ячейки. В рядной же системе вскрытия, вывод из эксплуатации за-



качной скважины лишь ослабит фронтальное направление закачных растворов, без образования «мертвой» зоны, за счет работоспособности смежных скважин в ряду. Так же рядная схема позволяет вскрывать запасы большим количеством технологических скважин с сокращением периода эксплуатации площади и соответствующим сокращением затрат текущего периода (зарплаты, отчисления и т.д.).



В 2002-2004 годах определялся оптимальный режим закисления. Какой из методов закисления, классический активный (сам-на-себя) или опережающий пассивный, более приемлем в условиях месторождений Северный и Южный Карамурун. Наиболее приемлемым был определен опережающий режим закисления. Данный режим позволяет использовать растворы дорабатываемых полей без прокачки непродуктивных растворов подготавливаемых площадей. Запуск погружных насосных агрегатов выполняется в рабочих средах с промышленными концентрациями урана в растворах. Из работы погружных насосов исключается период подготовки физических и химических кольматационных процессов. Кроме этого, проведение опережающего режима закисления позволяет снизить кольматационные процессы пласта и прифилтровых зон откачных скважин и соответственно проводится меньшее количество РВР.



Буровой агрегат 1БА-15В

Проведение химической обработки скважин растворами серной кислоты на блоках с высоким содержанием карбонатов в рудовещающих породах, со временем становится менее эффективной. С целью повышения эффективности химической обработки откачных скважин применяли соляную кислоту. На первых порах соля-

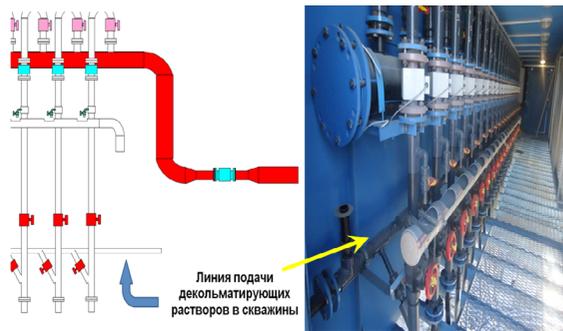
ную кислоту заливали в устье скважины, однако объем подачи соляной кислоты на одну скважину составлял от 200 литров и более, что очень дорого обходится. Перешли к подаче соляной кислоты, с помощью установки 1БА-15В, непосредственно в фильтровую зону через буровые снаряды, что позволило сократить расход соляной кислоты до 50-70 литров, но вероятность выхода из строя скважины и буровых снарядов были и остаются велики.



Передвижная модульная установка отчистки скважин ПМУОС

В период 2009-2010 года совместно с ТОО «ИВТ» разработали и внедрили в производство передвижную модульную установку очистки скважин (ПМУОС). Достоинством данной установки является мобильность и безопасность проведения РВР на технологических скважинах. Однако наработанный опыт эксплуатации выявил необходимость проведения ряда усовершенствований данной установки. Установка разрабатывалась как возможная альтернатива установкам 1БА-15В и УРБ.

В 2011-2012 годах совместно с ТОО «ИВТ» провели опытно-промышленные работы по эффективному освоению запасов геологических блоков расположенных на периферии рудоносной зоны месторождения Северный Карамурун. В результате данных работ, была доказана сложность отработки этих запасов. Работы не определили эффективных методов отработки краевых частей геологических блоков и требуется продолжения этих работ.



Узел проведения химических обработок скважин в системе ТУППРа

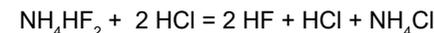
В 2012 году внедрили в производство узел химической обработки скважин в системе ТУППРа. Использование узла химической обработки скважин в системе ТУППР позволило без дополнительных затрат на автотехнику и человеческие ресурсы увеличить количество хим. обработок, существенно увеличить объем подаваемых декольматирующих растворов в скважины и улучшить состояние ОТ и ТБ.

В 2013 году провели эксперименты по применению бифторид фторид аммония (БФА), для химической обработки откачных скважин. Эффективность применения БФА для восстановления дебитов откачных скважин достаточно высокая. приме-

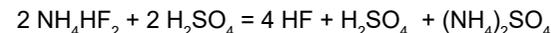
нение БФА особенно удобно в плане безопасности, т.к. сыпучий продукт упакован в мешки и может храниться и транспортироваться обычным способом. Данную работу необходимо продолжить в плане поиска и отработки наиболее оптимальных режимов химической обработки данным методом, а так же разработки и внедрения в производство мобильной передвижной установки для проведения химической обработки технологических скважин.

В условиях ТОО «РУ-6» проводятся работы по испытанию и внедрению в производство перспективных направлений улучшения качества химических обработок скважин. Одним из таких направлений является использование бифторид-фторид аммония (БФА) ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ) для получения растворов плавиковой кислоты ( $\text{HF}$ ) и использования ее в качестве декольматанта.

Применение БФА для получения плавиковой кислоты возможно за счет следующей химической реакции:



Для приготовления растворов  $\text{HF}$  необходима техническая соляная кислота, что существенно увеличивает опасность проводимых работ и стоимость проведения РВР. Специалистами ТОО «РУ-6» было предложено заменить соляную кислоту, серной так как минеральная кислота в данном случае необходима только для обеспечения кислотности растворов. После замены минеральной кислоты реакция приобретает вид:



## ВЫВОД

Проблема поисков эффективных физических и химических методов проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР) в скважинах, с целью увеличения дебита и межремонтного цикла, была и остается в ТОО «РУ-6» весьма актуальной, и значимость эффективного решения этих проблем ежегодно возрастает. В связи с тем, что продуктивность вскрываемых блоков снизилась за время эксплуатации с  $8 \text{ кг/м}^2$  до  $1,8-3,6 \text{ кг/м}^2$ , растет парк эксплуатируемых скважин. В последние пять лет были вскрыты и введены в эксплуатацию блока со средним содержанием карбонатов в руде  $1,1-1,8\%$ , центральные части месторождения отработаны, в эксплуатацию начали вовлекаться периферийные части месторождения, где как правило руды рваные, тяжело вскрываемые, зачастую с не подтверждающимися балансовыми запасами и выходными параметрами в разы ниже ожидаемых проектно-расчетных значений. На сегодня мы эксплуатируем своё месторождение уже более 30 лет. Возможно, что предприятия, введенные в эксплуатацию 7-10 лет назад, столкнутся с такими же проблемами через 5-10 лет, многие столкнулись с ними уже сегодня, часть предприятий имеют такие проблемы практически с момента ввода в эксплуатацию, что частично и объясняет отклонение от консолидированного плана развития НАК «Казатомпром». Если мы сегодня не начнем активно решать существующие проблемы, то через 5-10 лет следует ожидать значительного роста себестоимости добычи и переработки металла.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕМБРАННЫХ ФИЛЬТРОВ НА СБРОСНЫХ РАСТВОРАХ В АФФИНАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Мащенко В.В., Нуржанов К.Е., Айдуйсенов Б.А., Мауленов Д.Е.**

ТОО «Таукентское горно-химическое предприятие», «Казатомпром», Таукент, РК

На аффинажном производстве Таукентского горно-химического предприятия «Казатомпром» осуществляется экстракционная переробка товарного регенерата с получением закиси-окиси урана. Данная технологическая схема состоит из следующих переделов:

1. Экстракция урана из товарного регенерата ТАА+Ди2ЭГФК;
2. Твердофазная реэкстракция урана карбонатными растворами;
3. Репульпация кристаллов аммоний уранилтрикарбоната (АУТК) свежими растворами карбоната аммония + керосином;
4. Прокалка кристаллов АУТК до закиси-окиси урана.

Экстракционная переработка нитратно-серноокислого регенерата с содержанием урана 30-35 г/л и нитрат-иона 10-15 г/л осуществляется в двух последовательных 3-х ступенчатых экстракторах типа смеситель-отстойник. В процессе экстракции попутно с ураном интенсивно экстрагируется нитрат-ион.

После твердофазной реэкстракции кристаллы АУТК поступают на репульпацию, органическая фаза направляется в процесс экстракции, а водная фаза (оборотный карбонатный раствор) возвращается на операцию твердофазной реэкстракции. Со временем в оборотном карбонатном растворе наблюдается накопление нитрат-ионов.

Чем выше содержание нитрат-иона в оборотном карбонатном растворе, тем меньше размеры кристаллов АУТК, образующиеся в процессе реэкстракции. Кроме того, продукция (закись-окись урана), полученная таким образом, имеет низкую насыпную плотность, что приводит к снижению количества урана в одной транспортной емкости и увеличению транспортных расходов при отгрузке продукции потребителю.

На основании вышеизложенного возникла необходимость корректировки содержания нитрат-иона в оборотном карбонатном растворе. Опытным путем установлено, что содержание нитрат-иона в оборотном карбонатном растворе не должно превышать 80 г/л., а для этого оборотные растворы со временем выводятся из технологического процесса и направляются на пескоотстойник ПРС для разделения от органической фазы и далее на повторную переработку в УППР.

Керамические мембраны представляют собой моноканальный элемент длиной 250 мм с внутренним диаметром канала 7 мм. Площадь мембраны составляет 55 см<sup>2</sup>. Корпус моноканала изготовлен из  $\alpha$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а мембрана из диоксида циркония ZrO<sub>2</sub>, которая методом температурного синтеза нанесена на внутреннюю поверхность цилиндрического канала. Размер пор, прилагаемых мембран, - от 1 КД до 150 КД, 50 нм - 800 нм.

Моноканальный элемент размещён в металлическом корпусе-модуле – тип 1Т7-250. Керамическая подложка и мембрана керамического элемента химически стойки в диапазоне pH от 0 до 14, выдерживают высокую температуру и давление. Химическую регенерацию мембран можно проводить растворами щелочей и кислот, или любыми активными растворами в зависимости от продукта – суспензии, подлежащей фильтрации. Сама установка выполнена из нержавеющей стали 316L. Все детали насоса выполнены также, из нержавеющей стали (в случае необходимости установка может быть выполнена из титана или другого химически стойкого материала).

Фильтрационная установка имеет два модуля, что позволяет одновременно работать с мембранами, имеющими различный размер пор, что позволяет оценить степень концентрации взвесей в растворе и удельную производительность для керамических элементов с различным размером пор.

Разделение растворенной органической и водной фаз из сбросных и промежуточных растворов аффинажного производства с применением мембранно – керамических фильтров.

Результаты испытаний позволяют интенсифицировать ранее применяемую схему переработки оборотных растворов при получении закиси-окиси урана, снизить расход химических реагентов, а так же ликвидировать промежуточный отстойник сбросных растворов АФЦ объемом 2000 м<sup>3</sup>, что существенно повлияет на снижение себестоимости готовой продукции и улучшение экологической обстановки.

### ФИЛЬТРАЦИЯ РАСТВОРОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ ТГХП НА ЛАБОРАТОРНОЙ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ ФИРМЫ MEMBRAFLOW

#### Растворы

Для фильтрации были предоставлены следующие растворы:

- ОКР, оборотный карбонатный раствор с минимальным содержанием органической составляющей.
- ОКР, оборотный карбонатный раствор с максимальным содержанием органической составляющей.
- раствор из емкости № 160, сборник смылов с полов и зумпфа, переливов и утечек различного характера.
- ТД, товарный десорбат.

Все растворы, предоставленные для исследования, были мутные, загрязнены частично механическими взвесями, частично органикой и металлами. Растворы имели, как щелочной так и кислотный характер, например раствор ОКР имел щелочной характер pH=12, раствор из емкости № 160 - pH=9. Товарный десорбат имел pH=2.

Методика эксперимента была принята следующая: фильтрацию проводили одновременно через два керамических моноканала с различными размерами пор мембраны 50 нм, 200 нм, 20 КД. Моноканалы размещены в фильтрационных модулях, образуя фильтрационный контур. Циркуляция раствора обеспечивалась насосом



из емкости фильтрационной установки через фильтрационный модуль обратно в емкость. Фильтрат отбирался одновременно из обоих фильтрационных модулей и накапливался отдельно. Фильтрация проводилась при давлении 2,5 атм. на входе в фильтрационный модуль. Режим фильтрации поддерживался таким образом, чтобы объемный расход фильтруемого раствора через каждый фильтрационный элемент составлял 0,7-0,8 м<sup>3</sup>/час, что соответствует скорости течения раствора в канале керамического элемента, примерно 5 м/с. Общий расход через два фильтрационных модуля составлял 1,4-1,6 м<sup>3</sup>/час. Объемный расход раствора через два фильтрационных модуля контролировался индукционным расходомером. При данном режиме фильтрации оценивалась удельная производительность керамической мембраны с размерами пор 50 нм, 200 нм, 20 КД (л/м<sup>2</sup> \*ч) для исследуемых растворов, а также степень концентрирования всех взвесей в исходных растворах.

В процессе фильтрации отбирали точечные пробы фильтратов, в которых определяли содержание солей и целевого продукта (Me). Подобному анализу подвергались и пробы исходного раствора перед фильтрацией, а также концентрат, полученный в конце фильтрации каждого раствора.

### 1. ОБОРОТНЫЙ КАРБОНАТНЫЙ РАСТВОР (ОКР)

Исходный раствор ОКР объемом в 33 литра фильтровался на двух керамических мембранах с размерами пор в 200 нм и 50 нм. Исходный раствор мутного цвета с желтоватым оттенком, pH = 12.

В результате фильтрации было получено 28 л фильтрата и 5 литров концентрата. Фильтрат был абсолютно прозрачен с желтоватым оттенком.

Концентрат мутного цвета с характерными признаками формирования на поверхности легкой фракции, предположительно «органической составляющей».

В полученном фильтрате и пробах фильтрата, направленных в лабораторию на анализ, признаков образования легкой фракции не наблюдалось.

Скорости фильтрации через мембрану 200 нм и 50 нм были высокими и составляли соответственно:

- мембрана с размером пор 50 нм показала удельную производительность 1.526-1.326 л/м<sup>2</sup>\*ч при температуре фильтрации 43°C - 49°C;
- мембрана с размером пор 200 нм показала удельную производительность 4.959-2.507 л/м<sup>2</sup>\*ч при температуре фильтрации 43°C - 49°C. Результаты фильтрации раствора ОКР показаны в табл. № 1 в приложении.

Пример отобранной пробы для анализа составляющих раствора показан на фото 1 и 2.



Фото 1. исходный раствор

фильтрат,  
мембрана 200 нм

фильтрат,  
мембраны 50 нм

Оптически фильтрат из керамического элемента с размерами пор в 50 нм ничем не отличался от фильтрата, полученного на мембране с размерами пор в 200 нм.



Концентрат ОКР,  
фактор  
концентрирования  
K = 6,6

Фото 2.

Химическая мойка керамических мембран в конце фильтрации после слива концентрата проводилась щелочным раствором с pH=14. Щелочной раствор заливался в установку для регенерации мембран после одного споласкивания установки водой. Производительность мембран быстро восстанавливалась, хотя из опыта работы с подобными растворами, после щелочной мойки мембран необходимо также произвести легкую кислотную мойку, например 0,5-0,8% раствором серной или азотной кислоты. Данная необходимость в кислотной регенерации мембран вызвана возможным выпадением Me(OH)<sub>x</sub>.

### ВЫВОД

Фильтрат, при необходимости, можно вернуть в технологический процесс, он не содержит взвесей, коллоидов и «органики». При фильтрации раствора ОКР, очистке его от взвесей и остатка «органики» можно, примерно, получить 96-97% чистого фильтрата от общего суточного объема раствора и вернуть его в процесс и всего 3-4% концентрата от суточного объема. Если фильтрат содержит целевой металл, то он будет возвращен в технологический цикл, что уменьшит его потери.

## 2. ОБОРОТНЫЙ КАРБОНАТНЫЙ РАСТВОР (ОКР) С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ «ОРГАНИКИ»

Для фильтрации был взят раствор с содержанием, примерно в 50% «органики». Наличие значительного количества обеих фаз, привело к расслоению раствора на водную и органическую фазу. Данный раствор был подвержен эксперименту - фильтрации на керамических элементах с мембранами 50 нм и 200 нм.



Фото 3. Исх. раствор (расслоение водной и органической фаз)



Исх. раствор при перемешивании в фильтрационной установке

На фото 3 (слева) исходный ОКР, который фильтровался на мембранах 50 нм и 200 нм.

При фильтрации, водно-органический раствор в фильтрационной установке выглядит, как черно-бурая смесь, см. фото 3 (справа). Из-за интенсивного перемешивания насосом двух фаз, на мембраны поступает эмульгированная водно-органическая смесь, которую мембрана эффективно разделяет. Органическая составляющая концентрируется дальше в емкости лабораторной установки. На фото 4 (слева) показана водно-органическая смесь с большей концентрацией органической фазы (по сравнению с исх. ОКР – прим. ред.) из рабочей емкости фильтрационной установки (или концентрат) и фильтрат (справа), полученные при фильтрации ОКР на мембране 50 нм. Фильтрат абсолютно прозрачный, какой либо органической фазы визуальнo в фильтрате не обнаружено. Также органическая фаза не обнаружена и после временной выдержки фильтрата.

Процесс фильтрации данного раствора, с большим содержанием «органики» шел также с большой производительностью и для мембраны с размерами пор 50 нм составлял 1.226 л/м<sup>2</sup>\*ч, для мембраны 200 нм - 2.283 л/м<sup>2</sup>\*ч. При технической реализации по фильтрации такой водно-органической смеси необходимо использовать мембраны с размерами пор 50 нм и меньше. При более крупных размерах пор, из-за высокой органической составляющей, может возникнуть эффект коалесценции,



Фото 4. Концентрат (ОКР с концентрированной «органикой» в рабочей емкости фильтрационной установки).



Фильтрат, мембрана 50 нм.

т.е. сливание капель, что может привести к проскоку «органики» через керамическую мембрану в фильтрат.

### ВЫВОД

Раствор ОКР с большим содержанием «органической» составляющей фильтруется хорошо, на мембране 50 нм происходит устойчивое разделение двух фаз - водной и «органической». В результате: фильтрат (водную фазу – прим. ред.) можно вернуть в технологический процесс, а органическую фазу (концентрат) - частично в процесс или полностью на специальную утилизацию.

### 3. РАСТВОР ИЗ ЕМКОСТИ № 160 (сборник смывов с полов и зумпфа, переливов и утечек различного характера)

Раствор из емкости 160 фильтровался на мембранах с размерами пор 50 нм и 20 КД. Раствор имел характерный грязный цвет, высокой степени мутности с желтоватым оттенком, РН = 9. Было отфильтровано 24 л, из них получено 8 л концентрата и 16 литров фильтрата. Коэффициент концентрирования К = 3. Фильтрат, из обоих модулей с керамическими мембранами 20 КД и 50 нм, был абсолютно прозрачен с легким оттенком желтого цвета, без признаков взвесей или какого-либо осадка. Исходный раствор и продукты фильтрации показаны на фото 5.

Удельная производительность по фильтрату для мембраны 50 нм составляла 300-540 л/м<sup>2</sup>\*ч, для мембраны в 20 КД от 700 до 430 л/м<sup>2</sup>\*ч. Производительность по фильтрату была несколько ниже, чем у раствора ОКР, это связано, вероятно, с иным содержанием солевого состава и механических взвесей. В отобранной пробе концентрата был замечен осадок порошка желтоватого цвета на дне пробного стакана.



Фото 5.

Химическая регенерация мембран щелочным раствором с  $\text{pH}=14$  была неудачной. Мойку мембран, при фильтрации «раствора из емкости №160» необходимо производить кислотой: 0,5-1,2% раствором серной или 0,5-0,8% раствором азотной кислоты.

### ВЫВОД

Удельная производительность при фильтрации «раствора из емкости №160» достаточно высокая, что позволяет использовать мембранную технологию для его очистки. Степень концентрации (сокращение объема «грязного» раствора – *прим. ред.*), вероятно, будет не менее 30-40 раз. В результате можно получить шлам в количестве не более 3% от общего объема раствора, накапливаемого в емкости №160. Фильтрат, после анализа солевого состава и наличие  $\text{Me}$ -составляющей направить на ионообменные колонны для доизвлечения целевого продукта.

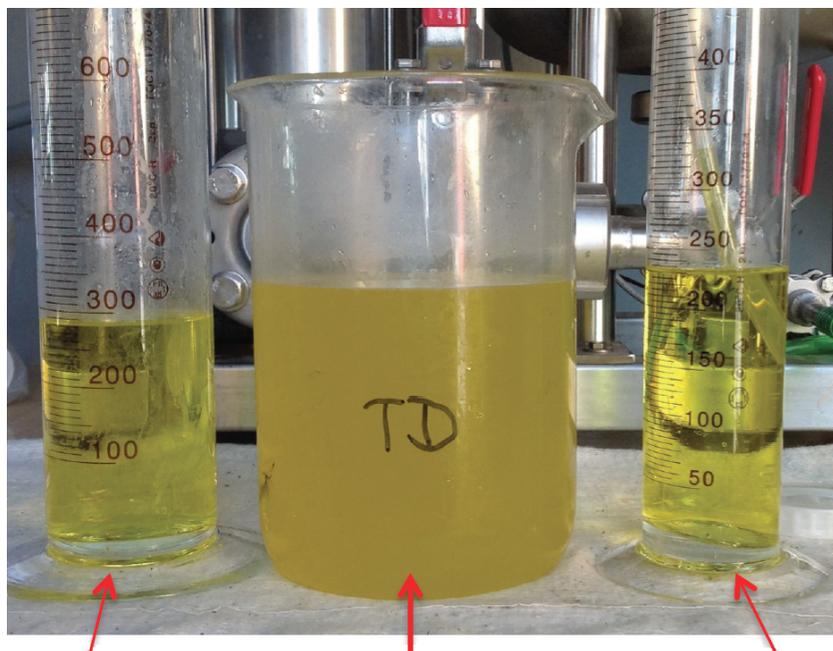


Фото 6. Фильтрат, мембрана 20 КД

исходный раствор

фильтрат, мембрана 50 нм

### 4. ТОВАРНЫЙ ДЕСОРБАТ - ТД

Для эксперимента была предоставлена проба товарного десорбата. Исходный раствор ТД мутный с характерным желтоватым оттенком, раствор имел кислую реакцию,  $\text{pH}=2$ . Фильтрация шла по той же методике, что и предыдущих растворов, то есть, 12 литров ТД из емкости фильтрационной установки циркулировали через фильтрационный контур с двумя модулями фильтрации, в каждом из которых была керамическая мембрана с различным размером пор, а именно 20 КД и 50 нм. Фильтрат отдельно отбирался из каждого фильтрационного модуля, а все взвеси и «мутность» концентрировались в рабочей емкости фильтрационной установки.

### ВЫВОД

Раствор ТД фильтруется хорошо. Мембранная технология на основе керамических мембран, при экспериментально установленной производительности, является эффективным методом для получения абсолютно чистых ТД. Полученный концентрат, необходимо анализировать, в нем будет происходить накопление «мутной» составляющей. По предварительным оценкам степень концентрирования должна лежать не ниже 20-30.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все растворы, предоставленные для исследования их фильтрационных характеристик на керамических мембранах фильтрационной установки фирмы MEMBRAFLOW показали высокую производительность по фильтрату. По визуальной оценке – фильтрат имел высокое качество и был абсолютно прозрачным. Взвеси и коллоиды, как органического, так и неорганического происхождения, концентрировались в рабочей емкости и их объем может составлять 1/20 - 1/30 от общего объема, подлежащего фильтрации. Результаты показали, что мембранная технология на керамических мембранах, может оказаться интересным технологическим шагом для глубокой очистки техногенных растворов в технологии ионообменных и экстракционных процессах получении «целевых  $\text{Me}$ ».

Обсуждение результатов эксперимента фильтрации необходимо привязать к результатам химанализа проб, направленных в лабораторию.

Экспериментальные исследования по фильтрации растворов проводились совместно со специалистами фирмы MEMBRAFLOW.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕГКИХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ЯДРАМИ $^{11}\text{B}$

*Н. Буртебаев<sup>1</sup>, М.К. Бактыбаев<sup>1</sup>, Д.Т. Буртебаева<sup>1</sup>, Ж.К. Керимкулов<sup>1</sup>,  
Е.С. Мухамеджанов<sup>1,2</sup>, Д.К. Алимов<sup>1,2</sup>, Д.М. Джансейтов<sup>1,3</sup>,  
С.В. Артемов<sup>4</sup>, А. Караходжаев<sup>4</sup>, Ш. Хамада<sup>5</sup>, Н.О. Садуев<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>Институт Ядерной Физики, г. Алматы, РК

<sup>2</sup>КНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, РК

<sup>3</sup>Евразийский Национальный Университет, г. Астана, РК

<sup>4</sup>Институт ядерной физики АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

<sup>5</sup>Факультет Наук, Университет Танта, г. Танта, Египет

<sup>6</sup>НИИЭТФ, г. Алматы, РК

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение ядерных реакций представляет особый интерес, поскольку оно может предоставить полезную информацию о структуре ядра, параметрах потенциалов, деформации и вероятностях переходов. Взаимодействие  $\alpha$ -частиц с ядрами является важным инструментом для понимания структуры ядра и ядерных реакций. Концепция среднего поля  $\alpha$ -частицы широко используется для объединения состояний связанных и рассеиваемых  $\alpha$ -частиц аналогичным образом с использованием ядерного среднего поля для расчета свойств связанных состояний одной частицы, а также рассеяние несвязанных нуклонов на ядрах.

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальные угловые распределения реакции ( $\alpha, \alpha$ ) на ядре  $^{11}\text{B}$  измерены на выведенном пучке изохронного циклотрона У-150М Института ядерной физики при энергиях  $E_\alpha = 29$  МэВ и 40 МэВ.

В качестве мишени использовались металлические фольги из изотопа бора-11. Напыление изотопов  $^{11}\text{B}$  на стекло проводилось на установке ВУП-5 методом электронного распыления. В дальнейшем фольга на стекле была снята на поверхность дистиллированной воде путем растворения промежуточного слоя соли.

Толщину мишени определяли на линейном ускорителе УКП-2-1 РГП ИЯФ. Для определения толщины бора производились измерения кривых выхода реакции  $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$  в районе резонанса  $E_p = 992$  кэВ[1] с использованием алюминиевой фольги и напыленной мишени. Смещение этого резонанса в реакции  $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ , обусловленное потерей протонами энергии при прохождении пленки  $^{11}\text{B}$ , составило 62,0 кэВ, чему соответствовала толщина мишени 320 мкг/см<sup>2</sup>. Такой метод позволил определить толщину мишени с погрешностью не хуже 5%.

В основу системы регистрации и идентификации продуктов реакций положен ( $\Delta E \pm E$ )- метод, основанный на одновременном измерении удельных потерь энергии заряженной частицы в веществе  $dE/dx$  и ее полной кинетической энергии  $E$ . В основе этого метода лежит уравнение Бете-Блоха, связывающее энергию вылетающей заряженной частицы с ее удельной ионизацией в веществе:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{kMz^2}{E} \quad (1)$$

где  $k$ -постоянная величина, слабо зависящая от сортов частиц,  $M$  и  $z$  – масса и заряд вылетающих частиц. Из этого соотношения видно, что при одновременном измерении  $E$  и  $dE/dx$  каждый сорт частиц занимает свою гиперболу в координатном пространстве ( $E, \Delta E$ ), что позволяет выделить нужный сорт частиц в эксперименте.

В качестве счетчиков использовались кремниевые полупроводниковые детекторы фирмы ORTEC. Угловые распределения дифференциальных сечений зарегистрированных тритонов измерялись в диапазоне углов  $\theta_{\text{наб}} = 10^\circ - 170^\circ$  с шагом  $1^\circ - 2^\circ$  для передней полусферы и  $3^\circ - 5^\circ$  для обратной. Телесный угол системы регистрации составлял  $4,22 \cdot 10^{-5}$  стерадиан. Энергетическое разрешение детектора при малых углах находилось в пределах (290) кэВ, а при больших - в пределах (350) кэВ и определялось, в основном, разбросом энергии в пучке циклотрона и за счет толщины мишени. Систематическая погрешность в сечениях связана с неопределенностью толщины мишени (5%), телесного угла спектрометра (1%), калибровки интегратора тока и не превышала (6-8)%. Статистическая ошибка анализируемых данных составляла (1-5)% и только в отдельных случаях в минимумах сечения на больших углах достигала (6-15)%.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Данные по упругому рассеянию анализировались в рамках стандартной оптической модели ядра, в которой влияние неупругих каналов учитывается феноменологическим введением мнимой поглощающей части в потенциал взаимодействия между сталкивающимися ядрами. В рамках этой модели упругое рассеяние описывается комплексным потенциалом взаимодействия с радиальной зависимостью в форме Вудса-Саксона:

$$U(r) = -V f(x_V) - i[W f(x_W)] + V_C(r), \quad (2)$$

где  $f(x_i) = (1 - \exp(-x_i))^{-1}$ ,  $x_i = (r - R) / a_i R_i = r_i A^{1/3}$ ,  $V_C(r)$  - кулоновский потенциал равномерно заряженной сферы радиусом  $R = 1,28 A^{1/3}$  фм. Учитывая компактные размеры налетающей частицы, мы в анализе данных при высоких энергиях ограничились объемным типом потенциала поглощения для мнимой части.

Кроме того анализ данных по упругому рассеянию проводился методом двойной свертки (double folding). Как правило, в рамках полумикроскопического подхода фолдинг модель используется для расчета реального потенциала, а в качестве потенциала поглощения применяется феноменологический мнимый потенциал Вудса-Саксона. Полумикроскопические значения реальной части ядро-ядерного ОП вычисляются в рамках модели двойной свертки (фолдинг расчеты) с использованием точных значений ядерных плотностей с различными вариантами нуклон-нуклонных (NN) взаимодействий в качестве входных данных. В большинстве расчетов «микроскопических» ядерных реакций до сих пор используют различные виды эффективного NN взаимодействия. Очень популярными были так называемые МЗУ взаимодействия, которые были разработаны для воспроизведе-

ния G-матричных элементов Reid [2] и Paris [3] на базе свободных NN потенциалов в основе осциллятора (далее по тексту МЗУ-Reid и МЗУ-Paris взаимодействия, соответственно). Первоначальное МЗУ взаимодействие является независимым от плотности и дано в виде функций Юкава:

МЗУ-Reid:

$$v_D(s) = 7999.9 \frac{\exp(-4s)}{4s} - 2134.25 \frac{\exp(-2.5s)}{2.5s}, \quad (3)$$

$$v_{EX}(s) = 4631.38 \frac{\exp(-4s)}{4s} - 1787.13 \frac{\exp(-2.5s)}{2.5s} - 7.8474 \frac{\exp(-0.7072s)}{0.7072s}$$

МЗУ-Paris:

$$v_D(s) = 11061.625 \frac{\exp(-4s)}{4s} - 2537.5 \frac{\exp(-2.5s)}{2.5s}, \quad (4)$$

$$v_{EX}(s) = -1524.25 \frac{\exp(-4s)}{4s} - 518.75 \frac{\exp(-2.5s)}{2.5s} - 7.8474 \frac{\exp(-0.7072s)}{0.7072s}$$

Силы Юкава в уравнениях (3) и (4) приведены в МэВ, а s это расстояние между двумя взаимодействующими нуклонами. Эти взаимодействия, особенно МЗУ-Reid версии, были использованы с некоторым успехом в расчетах в модели двойной свертки для взаимодействия тяжелых ионов (ТИ) при низких энергиях [4], где данные по упругому рассеянию обычно ограничиваются передними углами рассеяния и, таким образом, они чувствительны к ОП только на поверхности. Включение явной зависимости от плотности было необходимо для учета снижения силы ядро-ядерных взаимодействий, которые возникают при малых R, где перекрытие плотности ядерного столкновения увеличивается. Ранняя версия зависимости МЗУ-Reid взаимодействия от плотности была построена Kobos и др. [5] основываясь на результатах G-матрицы, полученных Jeukenne и др. [6]. Она была названа DDM3Y взаимодействием и было использовано для улучшения описания фолдинг моделью упругого рассеяния  $\alpha$ -частиц [5-7] и легких ТИ [8].

Все теоретические расчеты сечений упругого рассеяния  $\alpha$ -частиц на ядрах  $^{11}\text{B}$  проводились с использованием компьютерного кода FRESKO [9]

Таблица 1. Параметры оптических потенциалов для  $\alpha$ -частичного рассеяния на ядрах  $^{11}\text{B}$

E МэВ	На- бор	$V_0$ МэВ	$r_v$ фм	$a_v$ фм	$N_r$	$W_0$ МэВ	$r_w$ фм	$a_w$ фм	$W_d$ МэВ	$r_d$ фм	$a_d$ фм	$\delta$ 5/2-	$\delta$ 7/2-
29	OM A full	79.55	1.2	0.743					23.65	1.76	0.438	0.46	0.4
29	DF A full				0.73				25.67	1.76	0.42	0.46	0.4
40	OM A short	77.85	1.245	0.856		19.01	1.57	0.7				0.42	0.44
40	OM B full	130.97	1.245	0.76		18.38	1.57	0.64				0.42	0.42
40	DF A full				1.2	18.38	1.57	0.64				0.4	0.42
40	DF B full				1.2	30.0	1.262	0.7					

Результаты описания экспериментальных данных по упругому рассеянию альфа-

частиц на ядрах  $^{11}\text{B}$  при энергиях 29, 40 МэВ в рамках ОП и с использованием фолдинг потенциалов представлены на рисунке 1.

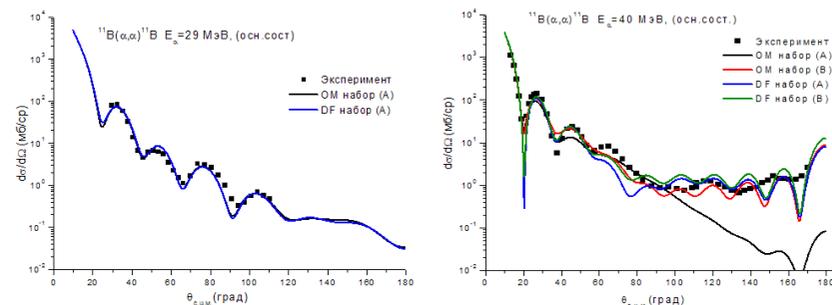


Рисунок 1. Угловые распределения упругого рассеяния  $\alpha$ -частиц на ядре  $^{11}\text{B}$  при энергиях 29, 40 МэВ. Символы – экспериментальные данные по упругому рассеянию; сплошные цветные кривые – расчет по ОП с феноменологическими и полумикроскопическими наборами потенциалов А и В

Установленные из описания данных по упругому рассеянию в рамках оптические параметры в дальнейшем будут использованы для расчета сечений ядерных процессов сопровождающих взаимодействия альфа-частиц с ядрами бора.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами был произведен эксперимент по рассеянию альфа-частиц при энергиях 29 и 40 МэВ. Данные по упругому рассеянию были проанализированы с использованием двух подходов – стандартной оптической модели (феноменологический) и метода двойной свертки (полумикроскопический). Незначительное отличие результатов феноменологических и полумикроскопических расчетов свидетельствует о физической обоснованности параметров феноменологических ОП.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта МОН РК № 601/ГФ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bulter J.W. Table of  $(p, \gamma)$  resonances by proton energy:  $E = 0.163 - 3.0$  MeV. // U.S. Naval Research Laboratory. NRL Report. – 1959. – P. 5282-5299.
2. G. Bertsch, J. Borysowicz, H. McManus and W.G. Love. Interactions for inelastic scattering derived from realistic potentials // Nuclear Physics A. – 1977. – Vol.284. – P.399-419.
3. N. Anantaraman, H. Toki and G. Bertsch. An effective interaction for inelastic scattering derived from paris potentials // Nuclear Physics A. – 1983. – Vol.398. – P.269-278.
4. G.R. Satchler, W.G. Love. Folding model potentials from realistic interactions for heavy ion scattering // Physics Reports. – 1979. – Vol.55. – P.183-254.
5. A.M. Kobos, B.A. Brown, P.E. Hodgson, G.R. Satchler and A. Budzanowski. Folding model analysis of  $\alpha$ -particle elastic scattering with a semirealistic density-dependent effective interaction // Nuclear Physics A. – 1982. – Vol.384. – P.65-87.

6. *J.P. Jeukenne, A. Lejeune and C. Mahaux.* Optical-model potential in finite nuclei from Reid's harg core interaction // *Physical Review C.* – 1977. – Vol.16. – P. 80-96.
7. *A.M. Kobos, B.A. Brown, R. Lindsay and G.R. Satchler.* Folding-model analysis of elastic and inelastic  $\alpha$ -particle scattering using a density-dependent force // *Nuclear Physics A.* – 1984. – Vol.425. – P.205-232.
8. *M.E. Brandan and G.R. Satchler.* Folding model analysis of  $^{12,13}\text{C}+^{12}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}+^{12}\text{C}$  scattering at intermediate energies using a density-dependent interaction // *Nuclear Physics A.* – 1988. – Vol.487. – P.477-492.
9. *Thompson I.J.* Coupled reaction channels calculations in nuclear physics // *Comput. Phys. Rep.* – 1988. – Vol.7. – P. 167-212.

## К МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСПЛАВА МАТЕРИАЛОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ БЫСТРОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

**И.И. Дерявко, И.М. Кукушкин, Н.Е. Мухамедов, А.В. Пахниц,  
В.В. Саблук, М.К. Скаков**

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ, г. Курчатова, РК

Исследование теплофизических свойств материалов и топлива ядерного реактора при высоких температурах представляет важную научную проблему, имеющую большую практическую значимость, поскольку именно они определяют энергонапряженность активной зоны реактора и термический к.п.д. ядерных энергетических установок, а также работоспособность и надежность функционирования элементов активной зоны [1]. С практической точки зрения сведения о теплофизических свойствах расплавленной активной зоны реактора и отдельных ее составляющих важны для моделирования явлений и процессов, являющихся неотъемлемой частью сценариев гипотетических тяжелых аварий на ядерных реакторах. Без них невозможно создание надежных конструкций в атомной энергетике, невозможно прогнозирование поведения материалов и конструкций в экстремальных условиях.

Известно, что теплофизические свойства ядерных материалов значительно изменяются в процессе эксплуатации. Однако контроль над изменением этих свойств в рабочих условиях (внутри активной зоны реактора) чрезвычайно затруднен. Поэтому изучение теплофизических свойств материалов ядерной техники и динамики их изменения в процессе эксплуатации требует проведения сложных послереакторных экспериментов [1]. При этом требуется специальная подготовка образцов для исследований. Как правило, стремятся к тому, чтобы образцы были невелики (массой порядка нескольких граммов), поскольку увеличение размеров облученных образцов создает дополнительные трудности в работе, связанные с усложнением защиты персонала от излучений.

Существующие данные по теплоемкости и теплопроводности материалов ядерной техники (особенно облученного ядерного топлива) крайне ограничены. Это связано как с техническими трудностями при работе с облученными материалами, так и с уникальностью (плохой повторяемостью) их свойств. На сегодняшний день, по-видимому, не существует законченной теории, способной объяснить, а главное – предсказать, свойства облученных материалов. Это в первую очередь объясняется случайным характером явлений, происходящих в материалах под действием излучений, что особенно относится к топливному материалу в процессе распада его активного компонента. Очевидно, что в этом случае нельзя рассматривать облученные материалы как некую смесь материалов с заранее известными составами и структурами. А поэтому и не представляется возможным применять для теоретических оценок их теплофизических свойств «правил аддитивности», тем более что эти правила значительно нарушаются при фазовых переходах [2].

Ранее в Филиале «Институт атомной энергии» Республиканского государственного предприятия «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (далее – Фи-

лиал «ИАЭ» НЯЦ РК) был выполнен обширный цикл исследований (см., например, [3-10]) по экспериментальному исследованию процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением конструкционных и топливных материалов активной зоны. В этих исследованиях моделировались условия протекания процессов плавления материалов активной зоны как в легководных реакторах (реакторах на тепловых нейтронах с водным теплоносителем), так и в быстрых реакторах (реакторах на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем).

Эксперименты с плавлением модельных твэлов и тепловыделяющих сборок выполнялись и на реакторе ИГР (где получали натуральный кориум), и на вне реакторных стендах EAGLE, АНГАРА и ВЧГ-135 (где получали прототипный кориум). При этом в послеекспериментальных исследованиях получаемых кориумов изучались только их структурно-фазовые состояния и физико-механические характеристики без исследования теплофизических свойств. Поскольку отсутствие данных по теплофизическим свойствам кориумов сильно обедняло результаты комплексных исследований состояний натуральных и прототипных кориумов, то для устранения этого негативного момента в Филиале «ИАЭ» НЯЦ РК было решено использовать недавно введенную в эксплуатацию лабораторную установку теплофизических измерений УТФИ-2 [11, 12]. Внешний вид этой установки представлен на рисунке 1.

Схема и конструкция установки УТФИ-2, первоначально предназначавшейся для измерения коэффициентов температуропроводности  $a$ , теплоемкости  $C_p$  и теплопроводности  $\lambda$  на образцах из нержавеющей стали, конструкционных и топливных оксидов и карбидов методом «мгновенного источника тепла», оказались полностью соответствующими для измерения этих коэффициентов на образцах натуральных и прототипных кориумов в форме тонкого диска (диаметром от 5,8 до 10,0 мм и толщиной от 1,22 до 2,00 мм) в диапазоне температур от 300 до 1000 К.



Рисунок 1. Установка УТФИ-2

Принцип действия установки основан на формировании теплового импульса на одном из торцов тонкого цилиндрического образца (диска) и регистрации температурных откликов на нагреваемой поверхности образца и противоположной поверхности с их последующей обработкой. Тепловой импульс формируется в омическом плоском нагревателе, помещенном между двумя одинаковыми образцами (рисунок 2) за счет выделения джоулева тепла. По условиям метода образцы должны быть идентичны по свойствам и размерам.

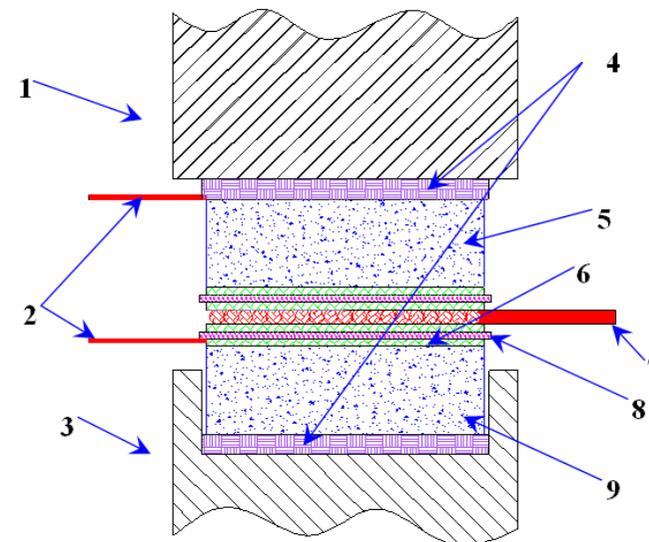


Рисунок 2. Схема установки образцов в кондуктиметр

- |                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. верхний прижимной цилиндр; | 6. термопаста;              |
| 2. термопары;                 | 7. нагревательный элемент;  |
| 3. нижний прижимной цилиндр;  | 8. пластинка слюды;         |
| 4. теплоизоляция;             | 9. вспомогательный образец; |
| 5. исследуемый образец;       |                             |

Специально разработанный источник формирования импульсов позволяет получить длительность импульса от 5 до 10 мс. Измерение температуры на внутренней и наружной поверхностях образца выполняется малоинерционными хромель-алюмелевыми термопарами. Сигналы с термопар через усилители-нормализаторы сигналов типа DSCA40-08 посредством согласующей платы PCLD-8710 поступают на АЦП PCI-1716. Кроме термопарных сигналов производится регистрация сигналов с датчика тока (шунт типа 75 ШСОМ3 50А 75 мV класс точности 0,5) и датчика напряжения (делитель напряжения на 1000), используемых при расчете энергии электрического импульса. В компьютере оператора происходит программная обработка сигналов, отображение и регистрация измерительной информации.

К настоящему времени на установке УТФИ-2 уже завершена отработка методики измерений теплофизических свойств модельных материалов при комнатной температуре и заканчивается отработка методики измерений этих характеристик при

высоких температурах. Определение погрешностей измерений на этой установке были проведены на образцах из материалов с известными теплофизическими свойствами, в частности на образцах из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Калибровочные измерения при комнатной температуре показали хорошую сходимостью определяемых величин с литературными данными [13]. Это позволило провести измерения теплофизических свойств на образцах, вырезанных из топливных  $UO_2$ -таблеток, а также выполнить пробные измерения теплофизических свойств при комнатной температуре на образцах, изготовленных из прототипного кориума легководного реактора.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Одинцов А.А.* Экспериментальные методы исследования теплофизических свойств веществ. – М., МИФИ, 2000, 88 с.
2. *Григорьев И.С., Мейлихов Е.З.* Физические величины (справочник). – М., Энергоатомиздат, 1991, 1232 с.
3. *Вурим А.Д., Жданов В.С., Пивоваров О.С. и др.* Результаты испытаний модельных твэлов реактора типа Брест-300 в реакторе ИГР. – Вестник НЯЦ РК, вып. 1, 2000, с. 25-30.
4. *Дерявко И.И., Перепелкин И.Г., Стороженко А.Н.* Исследование макро- и микро-структуры расплава материалов активной зоны ВВЭР после взаимодействия с водой. – Вестник НЯЦ РК, вып. 1, 2000, с. 83-87.
5. *Васильев Ю.С., Колодешников А.А., Черепнин Ю.С. и др.* Эксперименты по изучению взаимодействия топлива с теплоносителем и расплава активной зоны с бетоном при тяжелых авариях. – Вестник НЯЦ РК, вып. 4, 2000, с. 101-107.
6. *Жданов В.С., Васильев Ю.С., Колодешников А.А. и др.* Изучение деградации бетона в процессе взаимодействия кориума с бетоном (МСС1). – Вестник НЯЦ РК, вып. 1, 2004, с. 99-107.
7. *Васильев Ю.С., Вурим А.Д., Гайдайчук В.А. и др.* Исследования по проблемам безопасности ядерных энергетических установок на исследовательском реакторе ИГР: результаты среднemasштабного реакторного эксперимента, проведенного в рамках проекта EAGLE. – Вестник НЯЦ РК, вып. 4, 2006, с. 48-59.
8. *K. Konishi., J. Toyooka, K. Kamiyama, I. Sato, S. Kubo, S. Kotake, K. Koyama, Gaidaichuk V.A., Pakhnits A.V. and Vassiliev Yu.S.* – The Result of a Wall Failure in-Pile Experiment under the EAGLE Project. – Nuclear Engineering and Design, vol. 237(22), 2007, p.2165-2174.
9. *Васильев Ю.С., Вурим А.Д., Жданов В.С. и др.* Экспериментальные исследования по моделированию процессов, характерных для тяжелых аварий ядерных реакторов, проведенные в ИАЭ. – Вестник НЯЦ РК, вып. 4, 2009, с. 26-54.
10. *Васильев Ю.С., Вурим А.Д., Колодешников А.А. и др.* Исследование процессов, сопровождающих тяжелые аварии энергетических реакторов с плавлением активной зоны. – В кн. «Экспериментальные исследования в области безопасности атомной энергетики», ч. 1, Курчатова, НЯЦ РК, 2010, с. 225-263.
11. *Свинухов Д.С., Жданов В.С., Бакланов В.В., Саблук В.В.* Методика определения теплофизических свойств образцов перспективного топлива для ВВЭР. – Вестник НЯЦ РК, вып. 2, 2009, с. 86-92.
12. *Вурим А.Д., Алейников Ю.В., Витюк В.А. и др.* Реакторные исследования топлива перспективных ядерных реакторов на базе исследовательских реакто-

- ров ИВГ.1М и ИГР. – В кн. «Экспериментальные исследования в области безопасности атомной энергетики», ч. 1, Курчатова, НЯЦ РК, 2010, с. 196-224.
13. *Свинухов Д.С., Кукушкин И.М., Бакланов В.В., Саблук В.В.* Применение установки, реализующей импульсный метод для определения ТФС кориума. – Тезисы междунар. конф.-конкурса молодых ученых и специалистов «Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии, Алматы, 06-08 июня 2012 г.», Алматы, ИЯФ НЯЦ РК, 2012, с. 136-138.

## О ПРИЧИНАХ НЕСООТВЕТСТВИЯ ОЦЕНОК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В РАЗЛИЧНЫХ ЦЕНТРАХ ДАННЫХ

**Рябенко О.В.**

РГП ИГИ КАЭ МИНТ, г. Алматы, РК

В последние годы Центр данных РГП ИГИ (KNDC) участвует в службе срочных донесений о происходящих землетрясениях для МЧС РК. По всем сильным и ощутимым землетрясениям в оперативном режиме передаются основные параметры происшедших землетрясений на территории Казахстана и его окружения. Аналогичные сведения в МЧС передает и Центр обработки другой сети сейсмических наблюдений Казахстана – Сейсмологической опытно-методической экспедиции МОН РК. Оба Центра обработки представляют данные на своих сайтах в Интернете. Анализ данных по одним и тем же событиям показал, что оценки энергетических и магнитудных характеристик не совпадают. Было замечено, что чаще оценки KNDC являются заниженными по отношению к оценкам СОМЭ. Целью настоящей работы было сравнение получаемых в разных центрах решений, изучение энергетических определений по данным различных региональных центров Центральной Азии и выяснение причин несоответствия оценок.

На территории Центральной Азии ведут постоянные наблюдения и обработку данных сети сейсмических наблюдений и центры данных различных организаций. Такими центрами являлись: KNDC – Центр данных Института геофизических исследований КАЭ РК; СОМЭ – Центр данных Сейсмологической опытно-методической экспедиции; ЦДКИС – Центр данных Института сейсмологии Академии наук Кыргызской Республики.

Станции этих сетей расположены на территории двух стран – Казахстана и Кыргызстана. Станции ИГИ КАЭ РК расположены в основном по периметру Казахстана. Большую часть этих станций представляют сейсмические группы, состоящие из 10 – 21 элемента.

Станции сети СОМЭ сконцентрированы в основном на юге и юго-востоке Республики. Особенно плотная сеть имеется вблизи г.Алматы в пределах хребтов Северного Тянь-Шаня. Сеть станций ИС НАН КР находится на Северном и Южном Тянь-Шане вблизи сейсмически активных горных областей. Для корректного сопоставления получаемых решений мы сделали выборку одних и тех же событий из каталога землетрясений KNDC и СОМЭ, далее провели сравнительный анализ полученных значений магнитуд ( $m_{pv}$ ) [1] и энергетического класса (K) [2].

Для сопоставления данных KNDC и СОМЭ было отобрано 50 событий. Были рассчитаны значения разницы магнитуд и классов для каждого события.

$$\delta_{mpv} = m_{СОМЭ} - m_{KNDC} \quad \delta_K = K_{СОМЭ} - K_{KNDC}$$

Построены распределения полученных значений  $\delta_{mpv}$  и  $\delta_K$ , приведенные на рис.1 (а,б).

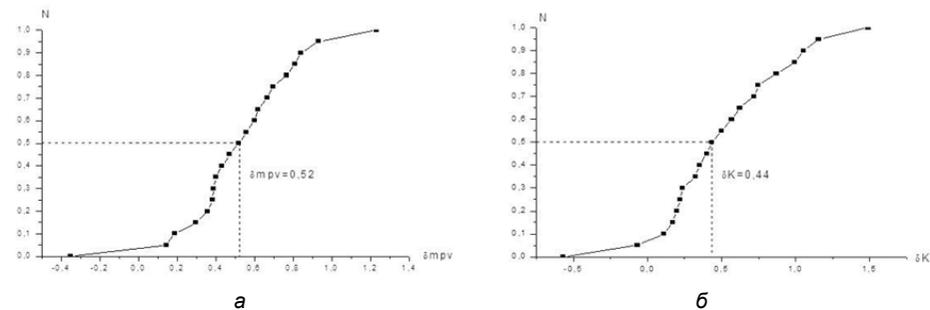


Рисунок 1. Распределение  $\delta_{mpv}$  и  $\delta_K$  по данным KNDC и СОМЭ

По распределениям рис.1 определены значения медиан распределений и перцентилей на уровне 15% и 85%. Получено, что медиана  $\delta_{mpv}=0,52$ , медиана  $\delta_K=0,44$ . Это означает, что по данным станций СОМЭ происходит систематическое завышение магнитуд в среднем на 0,52, классов на 0,44.

Аналогичное исследование проведено по данным Кыргызской сети станций и сети станций РГП ИГИ. Для сопоставления данных KNDC и ЦДКИС было отобрано 50 событий. Полученные распределения значений

$$\delta_{mpv} = m_{ЦДКИС} - m_{KNDC} \quad \delta_K = K_{ЦДКИС} - K_{KNDC}$$

показаны на рис.2 (а,б). Медианы распределений равны  $\delta_{mpv}=0,3$  и  $\delta_K=0,5$ . Следует вывод, что сеть Института сейсмологии Кыргызстана также завышает значения магнитуд и классов относительно сети РГП ИГИ.

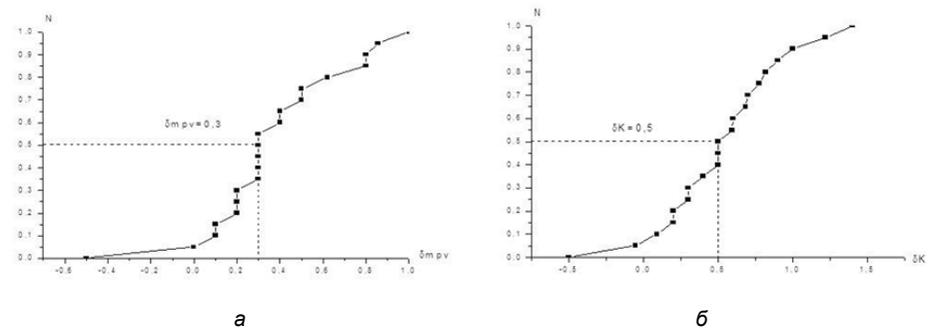


Рисунок 2. Распределение значений  $\delta_{mpv}$  и  $\delta_K$  по данным KNDC и ЦДКИС

Таким образом, мы получили, что при одинаковой методике определения  $m_{pv}$  и K, использовании одних и тех же калибровочных кривых по станциям, расположенным практически в одном регионе, в KNDC получают систематически меньшие значения  $m_{pv}$  и K, чем в двух других центрах.

Необходимо было выяснить причину такого занижения. Было сделано предположение, что это может быть связано с особенностями станций сети ИГИ. Основу

этой сети составляют сейсмические группы, все элементы которых размещены в скважинах. Все станции СОМЭ и ИС НАН КР расположены на поверхности в бункерах или штольнях.

Возможно, занижение магнитуд и классов связано именно с уменьшением уровня сейсмических колебаний с глубиной.

Основное количество обрабатываемых землетрясений в KNDC приходится на четыре сейсмические группы, расположенные в разных частях Казахстана. Особенно важное значение имеют группы Маканчи, Каратау и Курчатова, находящиеся в сейсмически активных областях страны. Именно эти группы представлены скважинными наблюдениями, т.е. сейсмометры расположены на глубине 30-60 м от поверхности земли.

Из теоретических соображений и экспериментальных работ различных исследователей известно, что амплитуды сейсмических колебаний на свободной поверхности возрастают по сравнению с амплитудами на глубине. Этот факт, например, широко используется в работах по мониторингу: для уменьшения уровня сейсмического шума сейсмические датчики размещают в скважинах. В статье, например, на данных станции Актюбинск показано, что после нескольких лет работы станции на поверхности в специальном бункере, в 2005 г. сейсмометр станции был помещен в скважину глубиной 65 м. Уменьшение уровня шума в связи с погружением сейсмометров произошло очень существенно. Интегральный эффект на периодах менее 0,1 с составил почти 30 дБ: уровень шума в скважине меньше уровня на поверхности. С увеличением периодов колебаний эффект снижения шума уменьшается. На периодах 0,5-1 с разница в уровнях составляет 10-15 дБ (рис. 3).

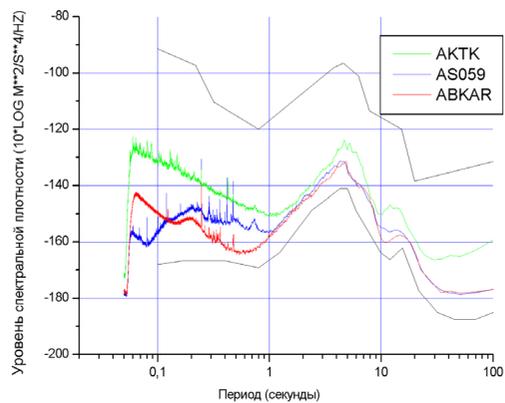


Рисунок 3. Спектральные кривые сейсмического шума по станциям АКТК (поверхность), АКТО-АС059 и АВКАР (скважины)

Аналогичный вывод можно сделать и при рассмотрении сейсмических шумов по станциям Маканчи – МКАР (скважинная) и МАКЗ - ИРИС/ГСН (аппаратура в штольне). На рис.4 представлены спектральные кривые сейсмического шума по этим станциям.

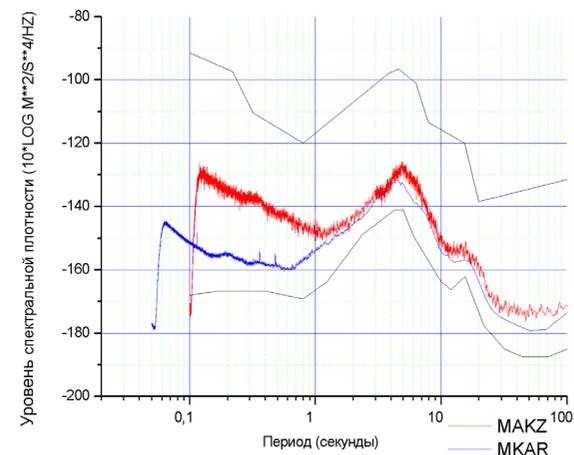


Рисунок 4. Спектральные кривые дневного сейсмического шума по станциям МКАР-PS23 и МАКЗ-ИРИС/ГСН

Видно, что различие в спектральных уровнях шума достигает наибольших значений на периодах от 0,1 до 0,8 с.: на поверхности шум почти на 20 дБ выше, чем в скважине. На 1 с различие в уровнях шума уменьшается до 7 дБ.

Станции МКАР и МАКЗ находятся на расстоянии 24 км одна от другой. Это хорошая возможность проверить на их данных непосредственно различие в определяемых параметрах. Фактически они регистрируют одни и те же события. Расстояния до гипоцентров различаются незначительно. Поэтому можно сопоставить значения магнитуд и классов для одних и тех же событий. Была сделана выборка событий из бюллетеня KNDC, где имелись данные этих двух станций. Построены

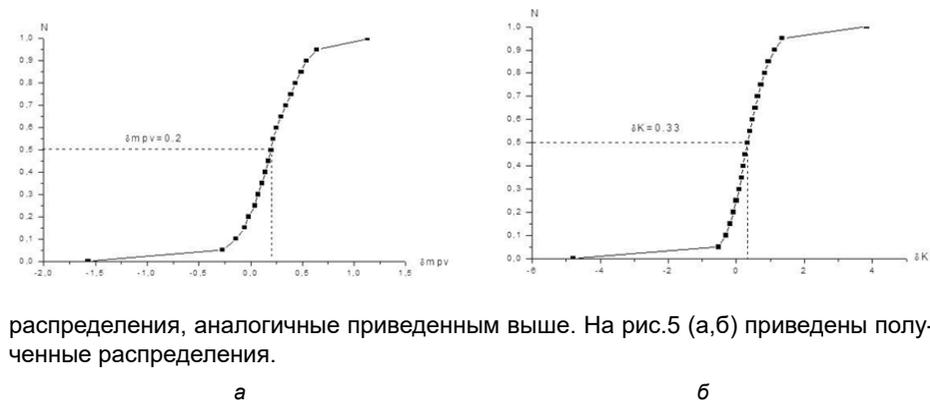


Рисунок 5. Распределения значений  $\delta mpv$  и  $\delta K$  по станциям МАКЗ и МКАР

Это сравнение наиболее корректное. Когда сравниваются средние значения магнитуд и классов для событий, зарегистрированных всей сетью, то осредняются все данные по станциям, находящимся в разных азимутах, на разных расстояниях

и т.д. Здесь же при регистрации одного и того же события двумя близкорасположенными станциями многие факторы не влияют. Поэтому можно отметить самые маленькие значения разброса в распределениях. Но, мы видим тот же эффект – станция на поверхности завышает как магнитуду, так и класс соответственно на 0,2 и 0,33 единиц соответственно.

Были проведены исследования связи найденных различий с такими факторами, как азимут, расстояния, сами значения магнитуд. Достаточно четко обнаружена корреляционная зависимость значений завышения магнитуд и классов с самими значениями этих параметров. Чем больше значение  $M$  и  $K$ , тем меньше различие между станциями (рис.6а, б).

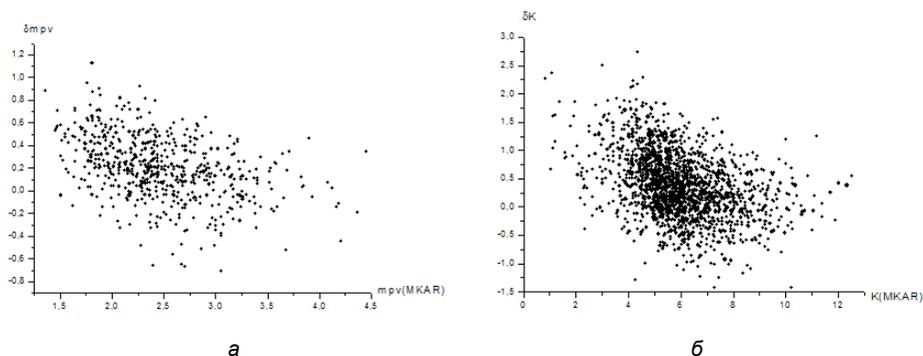


Рисунок 6. Зависимость различий в значениях магнитуд и классов от  $M$  и  $K$

Этого можно было ожидать, исходя из данных о частотной зависимости различий в уровнях сейсмических шумах. Как видно из рис.4, на больших периодах разница в уровнях уменьшается. Известно, что чем сильнее землетрясение, тем спектр его колебаний сдвинут в сторону больших периодов.

Интересные результаты прямых наблюдений на разных глубинах получены в последние годы на Бишкекской вертикальной сейсмической группе BIVA [4]. В скважине на различной глубине от 0 до 145 м установлены сейсмоприемники. 18 марта 2011 г. этой группой зарегистрировано землетрясение на глубинах 10, 25, 45, и 145 м.

Получены синтетические сейсмограммы на разных глубинах для разных случаев. В области частот от 0,5 до 2 с снижение амплитуд составляет от 2 до 5 раз. Это может вызвать разницу в магнитудах от 0,3 до 0,7 единиц.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получило количественное подтверждение систематическое различие в энергетических параметрах землетрясений по определениям разных Центров обработки. В KNDC при параметризации очагов землетрясений получают более низкие значения оценок магнитуд и энергетических классов, чем в казахстанском центре СОМЭ и киргизском Институте сейсмологии.

2. Выдвинута и подтверждена версия о связи наблюдаемых различий с размещением приборов сейсмических групп ИГИ в скважинах на глубинах от 26 до 80 м.
3. По данным регистрации сейсмических шумов и сигналов от землетрясений близко расположенными станциями - поверхностной МАКЗ и скважинной МКАР - показано занижение оценок по станции МКАР.
4. С ростом энергии землетрясений различие в характеристиках на поверхностной и скважинной станции уменьшается.
5. Приведены литературные данные, свидетельствующие о том, что при разных землетрясениях могут наблюдаться разные расхождения, связанные с частотным составом колебаний и расстояниями до эпицентра. Моделирование волновой картины записей при хорошем знании строения и параметров среды, где расположена скважина, может дать прогнозируемые оценки амплитуд сигналов на глубине по отношению к наблюдаемым на поверхности при разных вариантах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлова Н.Н. Калибровочная функция  $\delta(\Delta)$  для определения магнитуды МРВА землетрясений Северного Тянь-Шаня / Н.Н. Михайлова, Н.П. Неверова. // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. – Алма-Ата: Наука, 1986.
2. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км. / Т.Г. Раутиан // Труды ИФЗ АН СССР – 1964- № 32 (199). – С. 72-92.
3. Михайлова Н.Н., Комаров И.И. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным казахстанских станций мониторинга. // Вестник НЯЦ РК. 2006. Вып. 2. С 19-26.
4. Parolai, S., Bindi, D., Ullah, S., Orunbaev, S., Usupaev, S., Moldobekov, B., Echter, H. (2013): The Bishkek vertical array (BIVA): acquiring strong motion data in Kyrgyzstan and first results. // Journal of Seismology, 17, 2, 707-719.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВКЛАДА ПОЛИГОНА АЗГИР В ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ПРИЛЕГАЮЩИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

Севериненко М.А., Артемова В.А., Левашов М.А., Коротчина Л.В.,  
Мильц О.С., Полешко А.Н., Глущенко В.Н.  
Институт Ядерной Физики, г. Алматы, РК

В большинстве современных экологических исследований применяется количественная оценка изучаемых объектов и процессов. Применение количественных методов позволяют оценить изменения показателей качества объектов окружающей среды исследуемого объекта, судить о его состоянии на данный момент и выявить стабильность или тенденции к изменениям, скорость, размеры и направление изменений.

В последнее время при экологических исследованиях стали активно внедряться методы полуколичественной оценки данных и информации для оценки экологического состояния территорий. В Казахстане утверждены и применяются несколько методических документов, предлагающих методологии матричных полуколичественных методов обработки данных и установления величины неблагоприятного эффекта, возникающего в результате радиационной, химической и комплексной антропогенной нагрузки для загрязненных территорий (таблица 1).

Таблица 1. Сравнительная характеристика методологий полуколичественной оценки и основные аспекты

№ п/п	Регламентирующий нормативный документ	Применяемый методический подход	Критерии
1.	Методические указания по проведению оценки воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду, утвержденные приказом МОС РК от 29 октября 2010 г. № 270-п.	В Указаниях предложен методический подход, базирующийся на определении трех параметров воздействия: пространственного, временного и интенсивности воздействия. Каждый из трех параметров оценивается по специальной шкале с применением критериев, разработанных для соответствующих градаций шкалы.	Критерии значимости воздействия на природную и социальную среду
2.	Критерии оценки экологической обстановки территорий, утвержденные Постановлением Правительства РК от 31.07.2007 г. № 653.	В документе приводятся критерии оценки экологической обстановки территорий по совокупности показателей, характеризующих ухудшение состояния здоровья населения и окружающей среды. Используемые критерии используются при определении зоны чрезвычайной экологической ситуации или зоны экологического бедствия территорий по одному или нескольким основным и дополнительным показателям, отражающим более высокую степень неблагоприятной экологической обстановки.	Критерии экологической оценки территорий

3.	Экологические критерии оценки земель, утвержденные Постановлением Правительства РК от 7 июля 2007 года № 581	В документе приводятся диагностические и дополнительные критерии оценки экологической обстановки земель по совокупности показателей оценки качества селитебных территорий. В документе предлагается метод экологической оценки по степени деградации почв и земель.	Критерии экологического состояния земель селитебных территорий
----	--	---	--

В данной работе предложено оценить применимость полуколичественных методов для оценки вклада полигона Азгир в формирование радиоэкологической ситуации в прилегающих населенных пунктах (Азгир, Балкудук, Суюндук).

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ ЗНАЧИМОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Значимость воздействия, являющаяся результирующим показателем оцениваемого воздействия на конкретный компонент природной среды и оценивается по следующим параметрам: пространственный масштаб; временной масштаб; интенсивность.

Сопоставление значений значимости воздействия по каждому параметру оценивается по бальной системе по разработанным критериям.

Значимость воздействия является по сути комплексной (интегральной) оценкой. Определение значимости воздействия проводится в несколько этапов.

**Этап 1.** Для определения значимости воздействия на отдельные компоненты природной среды используются таблицы с критериями воздействий.

Балл значимости воздействия определяется на основе табличных баллов критериев воздействий по формуле:

$$Q_{\text{компл}} = Q_1 \times Q_2 \times Q_3$$

где :

$Q_{\text{компл}}$  – комплексный оценочный балл для рассматриваемого воздействия;

$Q_1$  – балл временного воздействия на i-й компонент природной среды;

$Q_2$  – балл пространственного воздействия на i-й компонент природной среды;

$Q_3$  – балл интенсивности воздействия на i-й компонент природной среды.

**Этап 2.** Категория значимости определяется интервалом значений в зависимости от балла. Категории значимости являются единообразными для различных компонентов природной среды и могут быть сопоставимыми для определения компонента природной среды, который будет испытывать наиболее сильные воздействия.

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИЙ

Критерии оценки экологической обстановки территорий - совокупность показателей, характеризующих ухудшение состояния здоровья населения и окружающей среды.

Определение зоны чрезвычайной экологической ситуации или зоны экологического бедствия осуществляется по одному или нескольким основным и дополнительным показателям, отражающим более высокую степень неблагополучной экологической обстановки:

- медико-демографические показатели;
- загрязнение воздуха селитебных территорий;
- оценка санитарно-эпидемиологической ситуации, связанной с питьевой водой централизованного водоснабжения;
- загрязнение почвы населенных мест;
- показатели для оценки радиационной безопасности;
- критерии изменения природной среды.

### **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ**

К диагностическим критериям для выявления деградированных почв и земель отнесены:

- нарушение земель;
- физическая (земледельческая) деградация;
- агроистощение;
- эрозия. Для оценки эрозии используются статические или динамические критерии, последние могут отражать как состояние почвенного покрова, так и ландшафтов;
- засоление;
- заболачивание.

Единой целью всех описанных методологий оценки является установление величины неблагоприятного эффекта, возникающего в результате радиационной, химической и комплексной антропогенной нагрузки для загрязненных территорий с использованием полуквантитативных методов оценки. Таким образом, ожидается, что применение названных методов позволит объективно оценить реальный уровень экологической опасности для населения, ее основные источники и характеризовать рассматриваемые территории по критериям экологической опасности.

В работе приведены основные результаты оценки вклада полигона Азгир в формирование современной радиоэкологической ситуации в прилегающих населенных пунктах. Объектами исследования являются населенные пункты Азгир, Балкудук и Суяндук. Количество населения в каждом из населенных пунктов не более 500 человек. Населенные пункты значительно отдалены от областных центров (пос. Ганюшкино), дорожная сеть представлена грунтовыми дорогами. Местное население в основном состоит из лиц среднего и пожилого возраста. Основной род занятий: разведение мелкого и крупного рогатого скота.

Центральное водоснабжение в населенных пунктах отсутствует, для хозяйственных и питьевых целей используется подземная вода из существующих на полигоне и в некоторых дворах колодцев и скважин.

По данным (2000-2002 гг.) клинико-лабораторного обследования установлено,

что основной патологией являются заболевания органов пищеварения, патология верхних дыхательных путей в виде хронических очагов инфекции носоглотки, заболевания мочеполовой системы, поражения сердечно-сосудистой системы диагностировались практически у каждого четвертого ребенка.

Исходными данными приняты результаты радиоэкологических исследований территории полигона и населенных пунктов, проведенных ЦКЭИ ИЯФ в 2009 и 2014 гг:

- Данные по ионному составу и минерализации подземных вод, используемых для питьевого и хозяйственного водоснабжения.
- Концентрация микроэлементов в подземных водах.
- Уровни мощности дозы гамма излучения (МЭД) и уровней эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе жилых помещений (ЭРОА Rn-222) населенных пунктов.
- Результаты определения содержания радионуклидов в почвах и источниках водоснабжения.

Общая схема исследования, в общем виде, включала следующие стадии:

- Выбор и количественная оценка основных неблагоприятных факторов химического и радиационного воздействия на окружающую среду.
- Сравнение полученных результатов оценки с нормативными значениями и отнесение к критериям экологической напряженности.
- Получение и описание результата.

**Таблица 2. Основные результаты экологической оценки  
на основе полуквантитативных методов исследований**

Экологическая оценка на основе критериев значимости воздействия на окружающую среду	Результирующая оценка воздействия на природную среду по критериям значимости воздействия на природную среду может быть характеризована как: средней значимости, умеренное, многолетнее, региональное. Воздействие высокой значимости имеет место, когда превышены допустимые пределы интенсивности нагрузки на компонент природной среды или когда отмечаются воздействия большого масштаба, особенно в отношении ценных / чувствительных ресурсов.
Экологическая оценка на основе критериев экологической оценки территорий	<u>Почвы:</u> Превышение ПДК химических веществ в почве: относительно удовлетворительная ситуация; Показатель загрязнения радиоактивными веществами (МЭД) – относительно удовлетворительная ситуация.  <u>Источники водоснабжения:</u> Содержание токсических веществ I класса опасности: относительно удовлетворительная ситуация. Содержание токсичных веществ II класса опасности – чрезвычайная экологическая ситуация; Содержание токсичных веществ III и IV классов опасности – экологическое бедствие; Общая минерализация (сухой остаток, мг/л) - чрезвычайная экологическая ситуация.

	Содержание радиоактивных веществ техногенного происхождения – относительно удовлетворительная ситуация.  <u>Индивидуальная дозиметрия:</u> Эффективная доза, мЗв – относительно удовлетворительная ситуация.
Экологическая оценка на основе критериев экологического состояния земель	Мощность экспозиционной дозы на уровне 1 м. от поверхности почвы, мкР/час – относительно удовлетворительная ситуация; Радиоактивное загрязнение, Ки/км <sup>2</sup> : цезий-137 – относительно удовлетворительная ситуация; стронций-90 – относительно удовлетворительная ситуация; плутоний – относительно удовлетворительная ситуация.

Таким образом, результаты оценки подтверждают ранее полученные заключения о том, что основным неблагоприятным фактором, обуславливающим экологическую напряженность в регионе обуславливается плохим качеством вод, используемых для водоснабжения. По общей минерализации, а также анионному составу воды в соответствии с классификацией вод по Вернадскому, в большинстве скважин и колодцев исследуемые воды относятся к сверхкрепким рассолам (минерализация выше 350 г/л = 350 000 мг/л). Концентрации веществ 2,3,4 классов опасности, таких как барий, природный стронций, марганец и железо значительно выше ПДК.

Результаты работы позволили также сделать выводы о применимости полуколичественных методов при экологической оценке территорий. Применяемые методологии позволяют классифицировать территории по степени значимости экологического воздействия, а также определить зоны чрезвычайной экологической ситуации или зоны экологического бедствия территорий по одному или нескольким основным и дополнительным показателям, отражающим более высокую степень неблагоприятной экологической обстановки, однако такая оценка не может удовлетворять абсолютной точности результатов исследования и требует дополнительного рассмотрения, принимая во внимание специфику загрязнения и характеристику использования территории и многие другие факторы.

Таблица 3. Различные стороны использования полуколичественных методов оценки

Плюсы метода	Минусы метода
Простота и легкость применения	Отсутствие 100% объективности (объективность оценки зависит от исследователя)
Оперативность	Для более точной оценки необходимо применение дополнительных методов математического и статистического анализа
Может использоваться для общей оценки опасности территорий или только как дополнительная оценка	

## ПОДГОТОВКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КАДРОВ В КАЗНУ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ

**Белисарова Ф.Б., Тауенова А.С., Бошкаев К.А.,  
Мырзакул Т.Р., Балгимбеков Г.Ш.**  
КазНУ им.аль-Фараби, г. Алматы, РК

Кафедра теоретической и ядерной физики готовит специалистов по двум образовательным программам: «Ядерная физика» и «Физика». Эти образовательные программы представлены на всех ступенях образования: на бакалавриате, магистратуре и PhD докторантуре. В соответствии с Дорожной картой, с 2012 года на кафедре открыты специальные отделения с изучением дисциплин на английском языке по специальностям «Физика» и «Ядерная физика» на всех трех ступенях обучения. В 2013-2014 учебном году по специальности «Ядерная физика» обучались 167 студентов, 40 магистрантов и 8 докторантов.

На кафедре действуют 6 научных и 12 учебных лабораторий. В контексте доклада наибольший интерес представляют деятельность следующих лабораторий: лаборатория теории атомного ядра, лаборатория ядерных взаимодействий и радиационной безопасности, лаборатория конструкционных материалов ядерно-энергетических установок, лаборатория общей ядерной физики, лаборатория радиоэнергии и радиационной безопасности, лаборатория автоматизации эксперимента по ядерной физике и компьютерного моделирования. Материально-техническая оснащенность наших лабораторий находится на высоком уровне.

Кафедра имеет 4-х стороннее соглашения между КазНУ им.аль-Фараби с ОИЯИ, НЯЦ РК и Международным университетом природы общества и человека «Дубна» (г. Дубна, Россия) о совместной подготовке бакалавров и магистров по ядерной физике и 2-х стороннее соглашение по программе двойного диплома (совместной степени) по подготовке докторов PhD по физике между КазНУ им.аль-Фараби и университетом Хоккайдо (г. Саппоро, Япония). На основании вышеуказанного соглашения в Международном университете «Дубна» в 2010-2014 гг. обучались 20 студентов, 6 магистрантов по специальности «Ядерная физика».

Студенты, магистранты и докторанты кафедры имеют возможность выезжать в ведущие мировые научные центры по программе академической мобильности. На кафедре ведутся научные исследования по фундаментальным и прикладным направлениям теоретической и ядерной физики. На период 2012-2014 гг. учеными кафедры выиграны 24 гранта по проектам на общую сумму 242 143 тыс. тг. Ежегодно более 50 студентов, магистрантов и докторантов PhD кафедры привлекаются к выполнению НИР на платной основе. Эта практика стимулирует студентов и молодых ученых к выполнению научных изысканий.

В работе нам хотелось бы особо отметить уникальный и интересный проект, реализуемый на нашей кафедре. В рамках центра по воспитательной работе и социальной деятельности мы реализуем проект «Пропаганда ядерного нераспространения и ядерной безопасности». Этот уникальный проект, он не имеет аналогов других учебных организациях. Неудивительно, что именно наш вуз занимается

организацией и реализацией этой идеи, так как у нас накоплен большой опыт и знания в этой области. Особо интересным и уникальным этот проект делает деятельность одного из идейных вдохновителей и организаторов. Одной из задач проекта является проведение различных мероприятий, направленных на информационное разъяснение не только отрицательных сторон использования ядерной энергии, но ядерной отрасли как таковой. Мероприятия очень интересные, увлекательные и информационно насыщенные, так что после них в центр обращаются много студентов, которые учатся и по другим специальностям. Например, одним из последних мероприятий был круглый стол посвященный проекту «Атом». Проект «Атом» - это инициатива Президента Республики Казахстан Назарбаева Н.А. Мы одними из первых провели разъяснительную работу по этой инициативе.

Существуют определенные проблемы, которые являются препятствием для более качественной подготовки отечественных кадров. Главная и наиболее острая проблема – уровень довузовского образования. В последние годы уровень знаний абитуриентов очень низкий, в особенности в области естественных наук. Это проблема накладывает дополнительные сложности и ставит новые вызовы. В докладе мы не будем рассматривать природу и причины этой проблемы. Решение этой проблемы – задача организаций курирующих работу этой ступени образования. В то же время наша кафедра старается нивелировать упущения довузовского образования. Для этого нашим профессорско-преподавательским составом ведется дополнительная работа по выявлению и решению недочетов в базовом знании наших студентов.

Другой проблемой является вовлечение новых научных открытий, либо новых данных в учебный процесс. Это проблема стоит не только перед нашей кафедрой, но она является универсальной для всей образовательной системы. Скорость, с которой новые знания вовлекаются и включаются в учебный процесс, предопределяет актуальность и качество предоставляемых знаний. Решение этой проблемы непростое и тривиальное, но требует систематической работы и вовлечения смежных дисциплин. Эта проблема частично решена нашей кафедрой, так как ежегодно у нас с лекциями выступают профессора из различных зарубежных университетов. Зачастую их лекций содержат новые и актуальные знания и данные, что дает возможность нашим студентам быть в курсе последних научных открытий и проводимых исследований. Если не все, то большинство важнейших научных открытий публикуются на английском языке. Своевременный и качественный перевод таких публикаций на казахский и русский языки способствовало бы решению этой проблемы. Конечно, существует ещё ряд проблем: малых и больших, которые стоят перед нашей образовательной системой.

Каждый год наш ВУЗ и наша кафедра стремится улучшить образовательный процесс. Наши выпускники становятся ценными кадрами в ядерной отрасли промышленности нашей страны. Они решают нетривиальные задачи, реализуют различные проекты государственного значения, внедряют новые методы. Всё это свидетельствует о большой эффективности образовательной системы. Можно уверенно утверждать, что мы являемся лидерами в подготовке отечественных кадров в области ядерной физики.

## НОВАЯ МЕТОДИКА ОЦИФРОВКИ ИСТОРИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

*Узбеков А.Н., Великанова А.А., Алещенко И.Б.*

Институт геофизических исследований КАЭ МИНТ РК, г. Алматы, РК

Непрерывные сейсмологические наблюдения в Казахстане начали проводиться с 1927 года, с 1951 г. прошлого века была образована стационарная сеть станций, расположенная по всей территории Казахстана, с целью детального изучения сейсмичности территории Казахстана, кроме стационарных, устанавливались временные станции специально для регистрации ядерных взрывов на региональных расстояниях. В сейсмологических архивах разных организаций Казахстана имеются записи двух видов: с регистрацией на фотобумагу (приборы СКМ и СКД, таблица 1) [1] и регистрацией пером с записью чернилами на обычную бумагу (приборы РВЗТ и КСЭ, таблица 2) [1]. Кроме записей станций, расположенных на территории Казахстана, архивы содержат большое количество сейсмограмм, станций, расположенных на Урале в Сибири, Дальнем Востоке, Центральной Азии (рисунок 1). Сейсмограммы, накопленные в Казахстанских архивах, уникальны, и являются бесценным материалом для научных исследований. Однако, со временем сейсмограммы, зарегистрированные на фотобумагу и пролежавшие много лет в архиве, темнеют и становятся хрупкими, чернильные записи выцветают, кроме того, аналоговая форма записи является препятствием для использования, особенно при решении задач, где предусмотрена цифровая математическая обработка. Поэтому задача оцифровки аналоговых сейсмограмм и сохранение их в современных форматах является чрезвычайно актуальной.

В ИГИ РК начиная с 2005 года стартовала бюджетная программа «Создание электронного архива исторических сейсмограмм ядерных взрывов и землетрясений, зарегистрированных станциями специального контроля» (2005 - 2011 гг.). Однако большая часть материала так и осталась не оцифрованной ввиду отсутствия подходящего мат. обеспечения. Это записи станций, регистрация сейсмических коле-

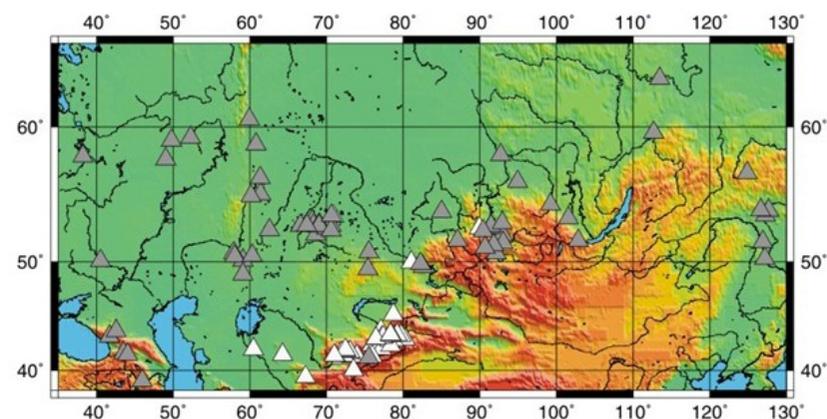


Рисунок 1. Карта расположения аналоговых станций КСЭ. Серые треугольнички – РВЗТ и КСЭ, белые – СКМ и СКД

баний на которых производилась с помощью приборов RVZT и CSE перописцем (таблица 1). В силу особенности регистрации сейсмограммы имеют дугообразные искривления, которые не могут быть оцифрованы и откорректированы при помощи программы NXSCAN [2]. Эти станции были расположены в Западном, Центральном и Северном Казахстане, где отсутствовали другие виды регистрации (рисунок 1). Кроме того, приборы имели увеличение, в сотни раз превышающие увеличение стандартных сейсмических станций, расположенных на Северном Тянь-Шане, что позволяло регистрировать даже самые слабые ядерные взрывы на удаленных расстояниях. В архивах содержатся несколько тысяч записей приборов RVZT и КСЭ, с источниками на полигонах СИЯП, Новая Земля, мирные ядерные взрывы.

Таблица 1. Характеристики аналоговой аппаратуры

станция	Собственный период $T_0$ , с	увеличение	Развертка по времени, мм/мин	тип регистрации	Количество каналов
СКД	20	1.0К-1.5К	60 или 30	фотобумага	3
СКМ	1.5, 2	25К-80К	120 или 60	фотобумага	3
УСФ	1.5	50К-80К	240 или 120	фотобумага	3
РВЗТ	1.25, 1.5	100К-300К	120	Чернильный перописец	3
КСЭ	1.25, 1.5	300К-1000К	120	Чернильный перописец	1

На рисунке 2 представлен схематический разрез перописущей головки приборов РВЗТ и КСЭ, а на рисунке 3 механическая схема регистрации перописца. Согласно схеме, сейсмическая запись деформируется, и при оцифровке необходимо исправлять сейсмическую запись за счет кривизны, согласно формуле 1.

Проведенный анализ существующих программ оцифровки, позволяющих оцифровывать криволинейные сейсмограммы существует 2:

1. TESEO – разработана в INGV (Италия). Платформа LINUX, WINDOWS.
2. DGS – разработана в SYNAPSE (Россия). Платформа UNIX, LINUX, WINDOWS.

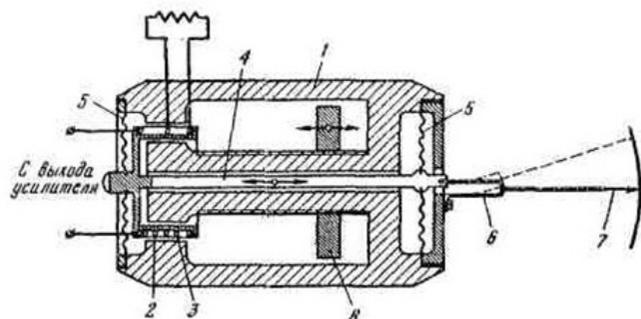


Рисунок 2. Схематический разрез перописущей головки  
1. магнитная система, 2,3. катушки, 4. стержень;  
5. дисковые пружины; 6. п-образная пружина,  
7. перо, 8. магнитный шунт.

Оба программных пакета наряду с преимуществами содержат ряд недостатков, DGS – лицензионный коммерческий продукт, а оцифровка с помощью TESEO занимает гораздо больше времени, чем NXSCAN.

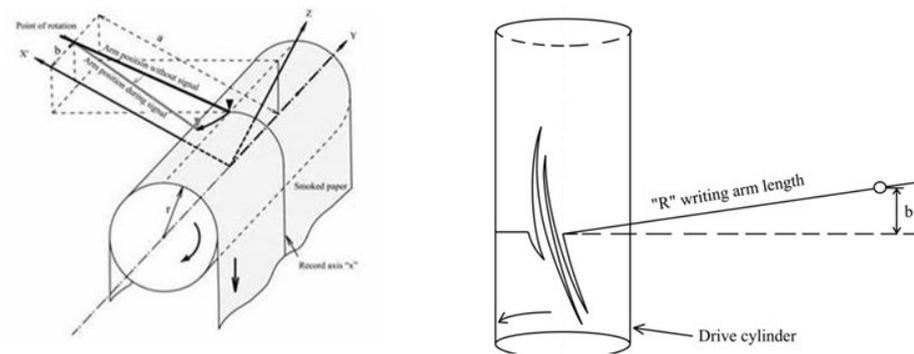
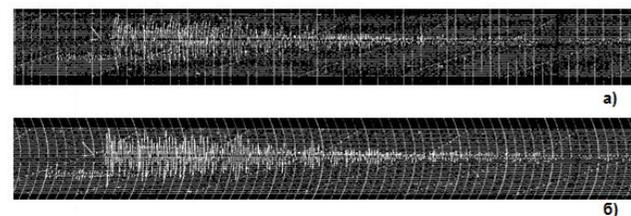


Рисунок 3. Механическая схема регистрации перописца

$$i(i) = \frac{60}{d} \left\{ x(i) - r \frac{\arcsin\{r^2 + a^2 - R^2 + [y(i) - b]^2\}}{2ar} + r \frac{\arcsin\{r^2 + a^2 - R^2 + b^2\}}{2ar} \right\} \quad (1)$$

В 2012 году стартовал совместный с Ламонт-Дохертской обсерваторией Колумбийского университета США проект по оцифровке исторических сейсмограмм из архивов Казахстана, предусматривающий и оцифровку дугообразных сейсмограмм, зарегистрированных приборами РВЗТ и КСЭ [1], и созданию общей базы данных сейсмограмм ядерных взрывов, оцифрованных в рамках различных проектов. Сотрудники LDEO создали матобеспечение DEARC, которое позволяет корректировать



дугообразные сейсмограммы, приводить их к стандартному виду. На рисунке 4 представлен пример преобразования дугообразной сейсмограммы к стандартному виду и оцифрованный фрагмент записи. Новое матобеспечение было

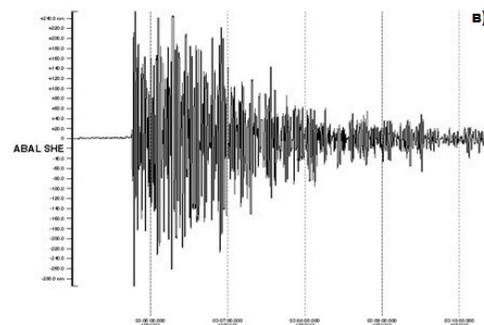


Рисунок 4. Сейсмограмма мирного ядерного взрыва Регион-3, 20 августа 1972 г.,  $t_0=03-00-00$ , 49.400 с.ш., 48.142 в.д., зарегистрированная станцией Аблаково ABAL, прибор РВЗТ, компонента в-з

- а) оригинальная сейсмограмма;
- б) сейсмограмма преобразованная программой DEARC;
- в) оцифрованная сейсмограмма.

внедрено в ЦСОССИ и проведена стажировка для сотрудников ИГИ из г. Курчатова. В настоящее время при помощи нового матобеспечения оцифровано около 700 исторических сейсмограмм, зарегистрированных приборами РВЗТ и КСЭ из архива КСЭ ИФЗ РАН.

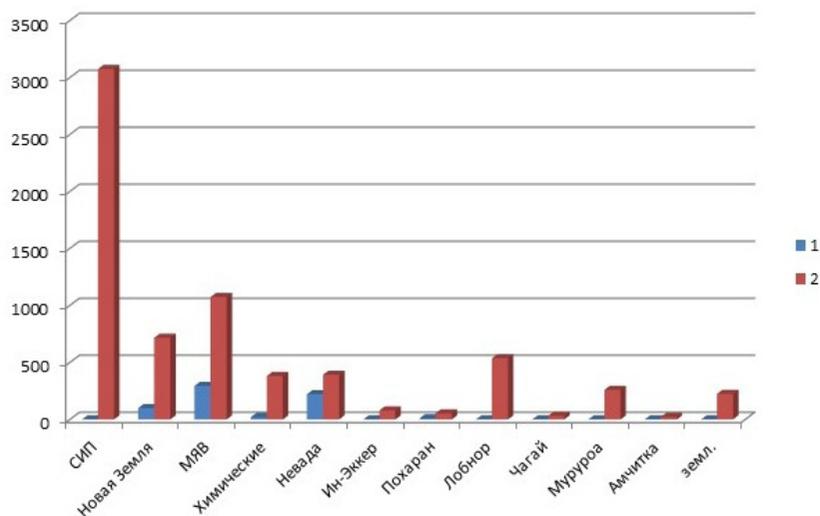


Рисунок 5. Распределение оцифрованных записей взрывов по испытательным полигонам мира

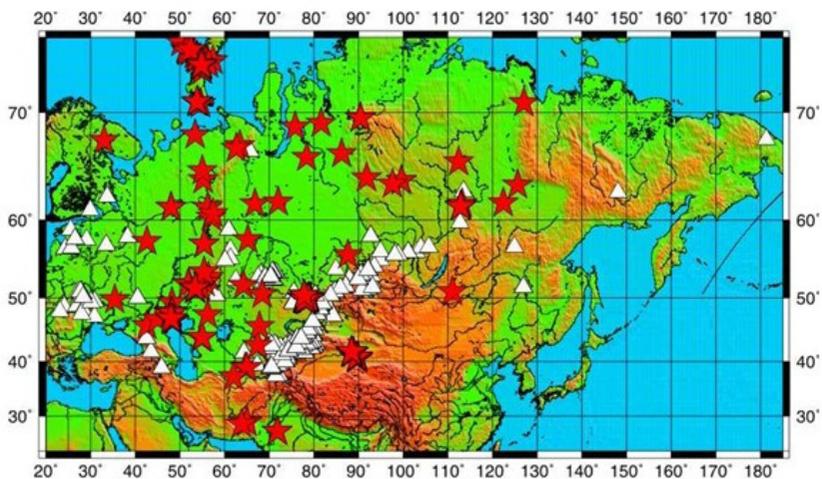


Рисунок 6. Карта расположения эпицентров ядерных взрывов (звездочки) на территории Евразии, сейсмических станций (треугольники), сейсмограммы которых были оцифрованы в РГП ИГИ

База данных оцифрованных сейсмограмм ядерных взрывов в данный момент включает 7 000 записей из районов испытательных полигонов: Семипалатинский

испытательный полигон, Новая Земля, Лобнор, Похаран, Чагай, Муруроа, Невада, Амчитка, Ин-Эккер, а также мирные ядерные взрывы на территории СССР и мощные химические взрывы на территории Центральной Азии. На рисунке 5 показано распределение оцифрованных сейсмограмм по полигонам, на рисунке 6 карта расположения эпицентров ядерных взрывов на территории Евразии, сейсмических станций, сейсмограммы которых были оцифрованы в РГП ИГИ.

Работы по оцифровке исторических аналоговых сейсмограмм продолжаются, в настоящее время база данных оцифрованных сейсмограмм ядерных взрывов используется в ряде задач мониторинга, таких как сейсмическое распознавание, калибровка станций, построение региональных годографов и др [3].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 3.И. Аранович [и др.] Основные типы сейсмометрических приборов // Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. - М.: Наука, 1974. -С. 43-117.
- NXSCAN. Manual. IRIS, 1992.
- I. Sokolova, I. Aleschenko, A. Uzbekov Database of digitized historical seismograms for nuclear tests monitoring tasks // Book of Abstracts Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty: Science and Technology 2011, 8-10 June Vienna, Austria. P.

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН МЕТОДОМ КНД-М

**Чаталбаш А.Е., Берестнев Н.В.**

ТОО «КАТКО», Созакский р-н, пос. Таукент, ЮКО, РК

### ЦЕЛЬ АНАЛИЗА

Оценка сходимости содержаний урана, полученных по данным метода КНД-м с данными лабораторных анализов опробования по керну.

### ВВЕДЕНИЕ

В 2011 году, перед Управлением каротажа и наладки, Дирекцией по геологии, была поставлена задача: провести геофизическое исследование скважин методом КНД-м на участке разведочного бурения.

Предпосылкой этому являлось:

- Наличие соответствующих требований согласно «Инструкция по применению классификации запасов к гидрогенным месторождениям урана (дополнение к инструкции по применению классификации запасов к месторождениям радиоактивных руд)» Астана, 2008 г. Пункт 4.3.
- Производственное «опробование» новых для Управления каротажа и наладки методов исследований и анализ их эффективности применения.

Геофизические исследования скважин методом КНД-м проводились стандартным комплектом оборудования марки АИНК-60 (Аппаратура импульсного нейтронного каротажа шестидесятого диаметра) в однозондовой модификации.

Геофизические исследования методом КНД-м были проведены в 108-ми скважинах, пробуренных с отбором керна на участке разведочных работ.

Полученные результаты геофизических исследований методом КНД-м были проинтерпретированы согласно требованиям действующей «Инструкция по каротажу мгновенных нейтронов деления при подготовке и эксплуатации пластово-инфильтрационных месторождений урана» Алматы, НАК «Казатомпром», 2003 г.

Результаты, полученные в ходе интерпретации данных метода КНД-м, были использованы в анализе.

### 1. КАРОТАЖ МЕТОДОМ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ (КНД-М)

Методы нейтронного каротажа основаны на облучении горных пород потоком нейтронов и измерении временных характеристик, по которым исследуется их пространственно-энергетическое распределение.

Нейтрон – элементарная частица, не имеющая электрического заряда. Атомные ядра состоят из нейтронов и протонов. Нейтрон устойчив только в состоянии ядра.

В свободном состоянии распадается на протон, электрон и антинейтрино. Время жизни в свободном состоянии приблизительно 12 минут.

Осуществление регистрации нейтронов различной энергии производится путём включения детектора на небольшие промежутки времени после импульса быстрых нейтронов, направляемых в горную породу от импульсного генератора нейтронов.

При КНД-м измеряется плотность потока нейтронов, не непосредственно от скважинного импульсного генератора после их замедления и термализации, а плотность потока мгновенных нейтронов деления, генератором которых является урановая руда, которая может рассматриваться как природный генератор быстрых нейтронов. Сущность метода заключается в следующем. Если в урановую руду поместить генератор (рис. 1.1), работающий в импульсном режиме (частота 20 Гц, длительность нейтронного импульса 2 мкс), то сразу после прекращения импульса в среде будут находиться быстрые нейтроны источника и мгновенные нейтроны деления ядер урана-238 и тория-232. (порог реакции около 1,4 МэВ). В результате взаимодействия со средой и те и другие замедляются за время 100-200 мкс до тепловых с наиболее вероятной энергией около 0,025 эВ. Под действием тепловых нейтронов происходит деление ядер урана-235, сопровождающееся испусканием мгновенных нейтронов пмг со средней энергией около 2 МэВ.

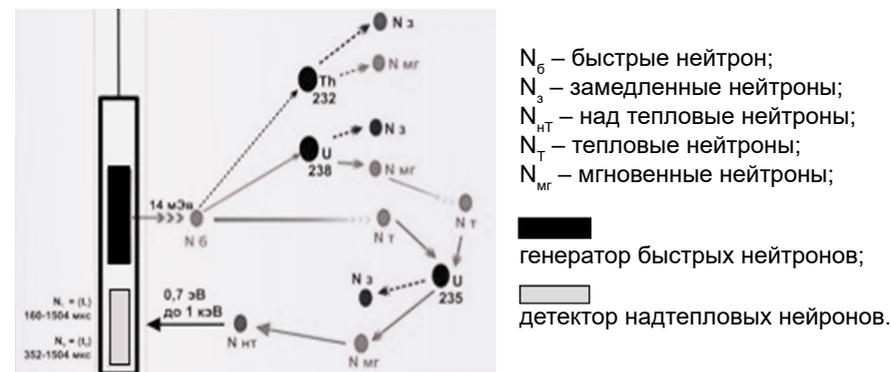


Рис. 1.1. Схема формирования полей нейтронных полей при КНД-м

Именно эти мгновенные нейтроны, замедленные в породе до надтепловых энергий в диапазоне 0,7 эВ до 1 кэВ регистрируются детектирующим устройством экранированного кадмием скважинного прибора АИНК-60 в интервале времени  $\Delta t_{HT}$  равном 2 048 мкс.

Медленные же нейтроны, вследствие того, что кадмий обладает по отношению к ним аномально высоким поглощающим свойством, будут кадмиевым экраном полностью поглощены.

Временноэнергетическая характеристика метода, наглядно иллюстрирующая принцип действия КНД-м, реализованного в аппаратуре АИНК-60 приводится на рисунке 1.2.

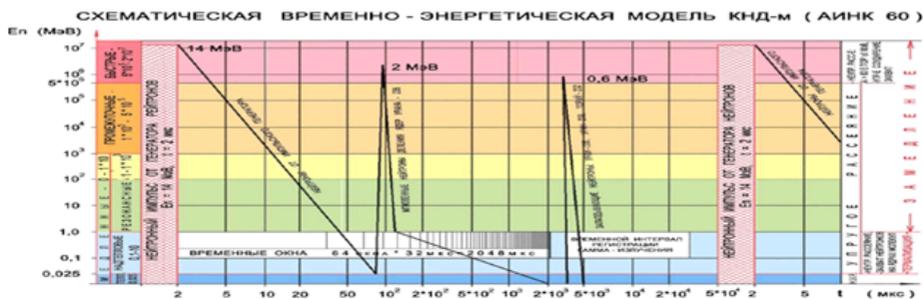


Рис 1.2. Схематическая временно-энергетическая модель КНД-м

Из принципа метода непосредственно вытекает, что весь эффект в урановых рудах создается исключительно мгновенными нейтронами деления урана-235. Действительно, деление урана-238 быстрыми нейтронами происходит только в течение нескольких десятков наносекунд после окончания нейтронного импульса, поэтому за время блокировки регистрации импульсов, составляющего несколько десятков микросекунд, мгновенные нейтроны деления урана-238 практически одновременно с нейтронами источника достигнут тепловых скоростей и не будут регистрироваться детектором. По той же причине и наличие тория не создает заметного эффекта.

То есть, измеряемая при проведении КНД-м скорость счета потока нейтронов не содержит в себе информацию о содержании в рудах радия, тория, радиоизотопа калия. И результаты интерпретации по определению содержаний урана, в отличие от интерпретации данных гамма-каротажа, не требуют их корректировок на радиоактивное равновесие между ураном, радием и дочерними продуктами их распада.

КНД-м может проводиться по однозондовой или двухзондовой методике. По данным КНД-м, полученным по однозондовой методике, определяется содержание урана и радия в условиях их естественного залегания при измерении двух сигналов  $N_1$  и  $N_2$  от первого детектора. По данным, полученным по двухзондовой методике дополнительно к определяемым параметрам при использовании однозондовой методике, дополнительно определяется влажность и объёмная плотность руды. Для этого проводят измерения трёх сигналов –  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ . При этом регистрация сигналов  $N_1$  и  $N_2$  производится первым детектором скважинного прибора, а регистрация сигнала  $N_3$  – вторым.

## 2. АНАЛИЗ ДАННЫХ

Для проведения анализа использовались результаты лабораторных анализов опробования керн с данными метода КНД-м по 49 скважинам, в которых было отобрано 1 148 проб.

Анализ проводился по двум типам сопоставления:

- 1) Оценка точности определения содержания U в интервалах проб, полученного по данным метода КНД-м и по результатам лабораторных анализов опробования керн.

- 2) Оценка точности определения содержания U в интерпретированных рудных интервалах, полученного по данным метода КНД-м и по результатам лабораторных анализов опробования керн.

Применяемая единица содержания при сопоставлении:

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ г/т U} = 1 \cdot 10^{-4} C_{\text{U}}\%$$

В анализе использовались:

- результаты лабораторных анализов на содержание U/Ra в отобранных пробах;
- результаты геохимического анализа (восстановленные - окисленные пески);
- литология на основе данных каротажа КС и геологического описания керн;
- результаты гранулометрического анализа (при его наличии);
- результаты определения по квантовому содержанию Ra, полученных по результатам гамма-каротажа;
- данные кавернометрии;
- данные первичных сигналов прибора АИНК-60  $N_1$  и  $N_2$ .

### 2.1 ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ U В ИНТЕРВАЛАХ ПРОБ, ПОЛУЧЕННОГО ПО ДАННЫМ МЕТОДА КНД-М И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ АНАЛИЗОВ ОПРОБОВАНИЯ КЕРНА

Результаты лабораторных анализов каждой пробы, отобранных на определение содержания U и Ra в них, были привязаны к результатам содержания U, полученным по данным каротажа КНД-м в тех же интервалах глубин.

В интервалах каждой пробы было определено среднее содержание U по данным метода КНД-м.

Была рассчитана относительная погрешность по формуле:

$$s = \frac{(x_i - x_0)}{x_0}$$

$x_0$  – основное значение (результат по данным лабораторных анализов опробования керн);

$x_i$  – измеренное значение (результат по данным метода КНД-м).

Все пробы были разделены на два типа по проницаемости пород: *проницаемые и непроницаемые*. Далее, все пробы (проницаемые и непроницаемые) были разделены на четыре категории (в зависимости от её принадлежности к тому или иному морфологическому элементу рудного интервала):

- РП – рудные пробы. Содержание в пробах  $U > 100 \text{ ppm}$ ;
- ГП – «граничные» пробы, отобранные в кровлях и подошвах рудных интервалов;
- БП – безрудные пробы. Содержание в пробах  $U < 100 \text{ ppm}$   $RA < 100 \text{ ppm}$ ;
- РО – безрудные пробы. Пробы, находящиеся в остаточных радиевых ореолах с содержанием  $Ra_{\text{GK\_OPROB}} > 100 \text{ ppm}$   $U (\text{OPROB}) < 100 \text{ ppm}$ .

После разделения проб на два типа по проницаемости пород и по четырем категориям по принадлежности их к тому или иному морфологическому элементу рудного интервала, было получено следующее:

Таб.2.1.1. Классификация проб по типу их проницаемости и принадлежности к морфологическому элементу РИ

Скважина	Категория БП-ГП-РО-РП							
	НЕПРОНИЦАЕМЫЕ				ПРОНИЦАЕМЫЕ			
	БП	ГП	РО	РП	БП	ГП	РО	РП
2957		1			4	2		7
2959					4	1	4	9
2961				3	6		4	3
2962	1			1	3		3	6
2964		1		1	17	5	1	1
2965	1			1	10	2	3	5
2966	1	1	1	3	5	2	2	26
2967	1		1		3	1	1	2
2970			1	3	7	2	2	11
2972	5		1	4	8	2	4	8
2975					1		3	3
2977			1		1	3	5	12
2982					2	2		6
2984	1				1	3	2	9
2985	1		2	4	11	3	3	5
2986	1				3	1	6	8
2987			1	6	2		4	11
2988	1			1	2	5		8
2992	2				6	3	4	9
2995		1	5		7	2	4	16
3000					4	4		14
3001	1		2	2	4		4	2
3004	1	2		2	3	2	1	3
3008	2				2	2	2	8
3009	2		2		1	1	5	1
3010					1		2	8
3012			1		4		6	3
3016					2		4	5
3027	1	1		1	1		6	4
3032	2	1			4	4	1	7

3042	2	1	7	6	12	8	7	11
3046	1		1	1	1	1	2	5
3105				1	3	4	2	9
3107	2	1	1	2	5	2	4	2
3109		1			2			4
3120					5	1	4	8
3125				3	10	3	10	13
3127	1	1	3	2			8	5
3132	2		2	3	8	1	2	14
3141				1	8	4	3	4
3142	3	1		2	4	3	4	10
3151						2		1
3154	2	2	1	4		1	3	11
3157				1	1	1	3	23
3161					5	6	2	11
3167				1	5	3	4	4
3169		1		6	4	2		3
3172		2	2	2	6	4	5	9
3173		3	2	2	4	3	7	14
	37	23	37	70	212	101	162	396

Из дальнейшего анализа были исключены следующие категории интервалов опробования:

1. ГП – «граничные» пробы, отобранные в кровлях и подошвах рудных интервалов. На этапе отбора проб (для дальнейшего определения содержания в них U и Ra) степень разубоживания содержания определяемых элементов в данной категории проб очень высока, что приводит к большим погрешностям при проведении какого-либо анализа. Всего таких проб в непроницаемых породах было исключено 23, в проницаемых – 101. Вариация мощностей отбора «граничных» проб в проницаемых рудных интервалах в 67 проб из 101 составляла от 20 до 50 см.
2. Для дальнейшего сопоставления, были исключены БП ( $U(OPROB) < 100$  ppm) в количестве 212 проб из проницаемого типа пород и 37 из непроницаемого.
3. Безрудные пробы (РО), *определенные в остаточных радиевых ореолах* ( $Ra_{GK\_OPROB} > 100$  ppm  $U(OPROB) < 100$  ppm), в количестве 162 пробы из проницаемого типа пород и 37 из непроницаемого.

Общее количество проб для сопоставления составило:

- в проницаемых: **396** проб;
- в непроницаемых: **70** проб.

Пробы, отобранные в проницаемых рудных интервалах, были сгруппированы по значениям средних содержаний U (OPROB) по данным опробования керна:

- 1. **Группа:** 100 ppm ↔ 300 ppm
- 2. **Группа:** 300 ppm ↔ 1000 ppm
- 3. **Группа:** 1000 ppm ↔ 2000 ppm
- 4. **Группа:** 2000 ppm ↔ 4000 ppm
- 5. **Группа:** > 4000 ppm

В каждой группе проб была проведена:

- 1. Оценка однородности выборки по статистике Смирнова. Оценка является однородной при условии если:

$$\zeta \leq \zeta_{кр}^{(1)}$$

- 2. Оценка присутствия систематической погрешности по временному распределению **t-статистики**. Систематическая ошибка принимается незначимой, при соблюдении условия:

$$t(z) < t_{кр}^{(1)}$$

- 3. Подсчитано случайное расхождение S для единичного определения по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(x_i - y_i)}{y_i} \right]^2}$$

- 4. Относительное расхождение в % средних значений определенных содержаний в группе.

Интервалы опробования в непроницаемых типах были сгруппированы по классам содержаний U (ОПРОВ). Было определено всего две группы класса содержаний:

- 1. **Группа:** 100 ppm ↔ 1000 ppm.
- 2. **Группа:** > 1000 ppm.

Группировка по двум классам содержаний связана с небольшим количеством сопоставляемых проб. В каждой группе по классу содержаний, в независимости от типа проб по проницаемости, по результатам оценки принадлежности крайних членов совокупности к одной выборки, производилось исключение интервалов опробования из сопоставления. Результаты проделанного сопоставления представлены в итоговой Таблице 2.1.2 .

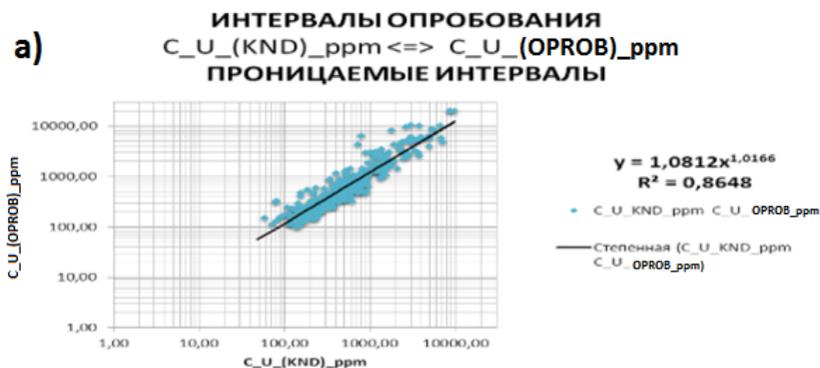


Таблица 2.1.2. Сводная таблица результатов оценки погрешности определения средних содержаний C ppm\_U (KND) <=> U (ОПРОВ)

Тип	Класс содержания	ИНТЕРВАЛЫ C_U_(ОПРОВ) <=> C_U_(KND) (KND)		Σ C_U		Δ C_U		Относительное расхождение, (%)	Среднеквадратические расхождения	Значимость систематических расхождений				
		всего	искл.	соп-но	ОПРОВ	KND	ОПРОВ			KND	P=0,95%	P=0,99%	t расч.	
П - П	100 ↔ 300	107	17	90	17 660	17 209,4	196,2	191,2	-2,6%	21,2%	1,98	2,63	0,79	
	300 ↔ 1000	162	28	134	74 360	70 229,5	554,9	524,1	-5,6%	24,0%	1,97	2,60	1,94	
	1000 ↔ 2000	63	9	54	75 020	62 240,4	1 389,3	1 152,6	-17,5%	20,5%	2,00	2,66	5,51	
	2000 ↔ 4000	30	4	26	72 030	54 225,9	2 770,4	2 085,6	-24,7%	28,5%	2,05	2,77	3,67	
	>4000	34	5	29	225 490	121 804,2	7 775,5	4 200,1	-46,0%	35,5%	2,04	2,75	5,75	
	<b>Итого</b>	<b>396</b>	<b>63</b>	<b>333</b>	<b>464 560</b>	<b>325 709,3</b>	<b>12 686,3</b>	<b>8 153,6</b>						
П - Н	100 ↔ 1000	44	6	38	16 020	11 463,9	421,3	301,7	-28,4%	34,3%	2,02	2,71	4,51	
	>1000	25	4	21	40 420	24 467,9	1 924,8	1 165,1	-39,5%	41,4%	2,03	2,84	5,02	
	<b>Итого</b>	<b>69</b>	<b>10</b>	<b>59</b>	<b>56 440</b>	<b>35 931,6</b>	<b>2 346,3</b>	<b>1 466,8</b>						

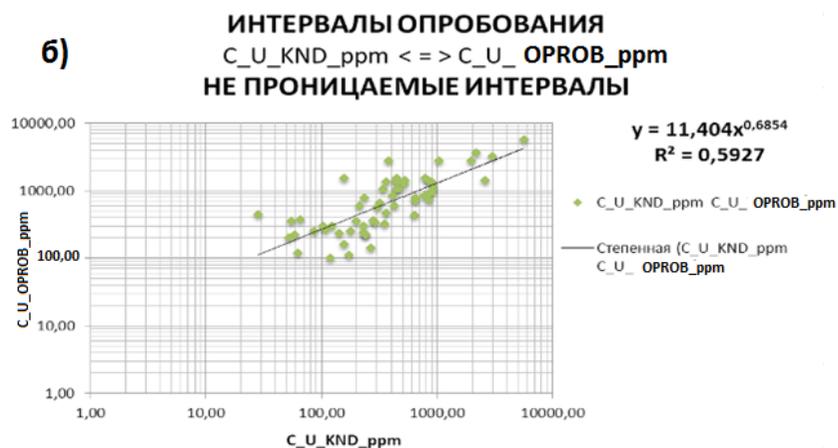


Рис. 2.1.1. График корреляции содержаний урана  $C_{ppm\_U}$  (KND)  $\Leftrightarrow$   $C_{ppm\_U}$  (OPROB). а - Проницаемые, б – Непроницаемые

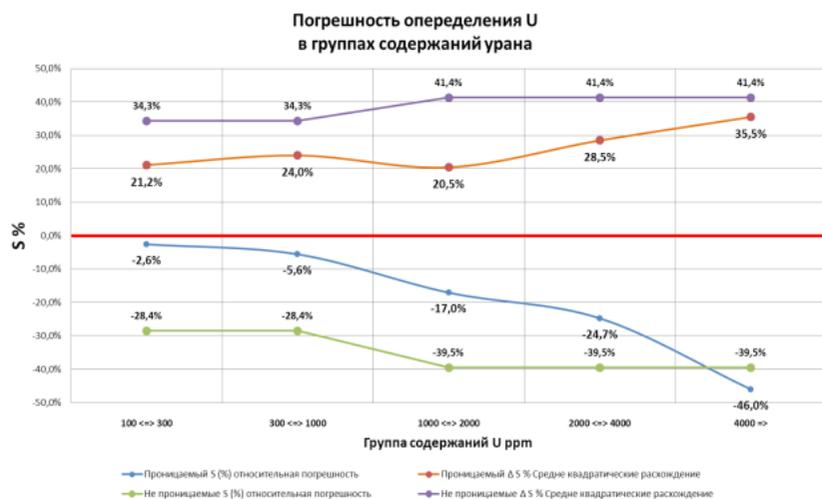


Рис.2.1.2. График погрешности определения урана в отношении класса содержаний

Представленные рисунки 2.1.1 (а,б) показывают соотношение между содержаниями U по данным лабораторных анализов опробования керна и данным метода КНД-м. Рисунок 2.1.1 (а) показывает соотношение содержаний U в проницаемых пробах и описывается степенным уравнением типа  $y=1,0812 * x^{1,0166}$  с коэффициентом корреляции (R2) равным 0.8648.

На рисунке 2.1.1 (б) показано соотношение содержаний U в непроницаемых пробах и описывается степенным уравнением типа  $y=11,404 * x^{0,6854}$  с коэффициентом корреляции (R2) равным 0.5927.

На рисунке 2.1.2 представлены графики в виде зависимости относительной и среднеквадратической погрешности к группам содержаний. В верхней части (положительных) графика представлены среднеквадратические погрешности в %. В нижней части (отрицательной) графика представлены относительные погрешности также в %. Как видно на графиках, значения обоих типов погрешности для проницаемых интервалов приобретают значимую погрешность > 25 % в группе проб со средним содержанием > 2000 ppm. Не проницаемый тип интервалов имеют значимые погрешности > 25 % во всех группах содержаний.

## 2.2 ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ U В ИНТЕРПРЕТИРОВАННЫХ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛАХ, ПОЛУЧЕННОГО ПО ДАННЫМ МЕТОДА КНД-М И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ АНАЛИЗОВ ОПРОБОВАНИЯ КЕРНА

Для сопоставления результатов опробования по керну с результатами по данным метода КНД-м, использовались данные поквантового содержания (0.10 м) урана определенного методом КНД-м и содержаний, определенных лабораторным путем. По данным содержаний U, определенных методом КНД-м были выделены рудные интервалы, с включением значений  $\leq 100$  ppm.

По данным содержаний U, определенных лабораторным методом по отобраным пробам, были также выделены рудные интервалы, с включением значений  $\leq 100$  ppm.

В полученных рудных интервалах были определены следующие параметры:

- кровля (начало) РИ (от);
- подошва (завершение) РИ (до);
- мощность РИ;
- содержание урана по РИ;
- метропроцент по РИ;
- выход керна по РИ.

В результате было получено **157** рудных интервалов.

Из дальнейшего анализа были исключены все рудные интервалы с выходом керна менее 75% - **30** рудных интервалов.

Оставшиеся **127** рудных интервалов были разделены на два типа по проницаемости:

- проницаемые - **88** рудных интервалов;
- не проницаемые - **39** рудных интервалов.

Из сопоставления были исключены все интервалы с  $mC < 100$  ppm по результатам опробования и метода КНД-м.

Проницаемый тип рудных интервалов был сгруппирован по классам средних содержаний:

1. **Группа:** 100 ppm  $\leftrightarrow$  300 ppm.
2. **Группа:** 300 ppm  $\leftrightarrow$  600 ppm.
3. **Группа:** > 600 ppm

Непроницаемые рудные интервалы были посчитаны без группировки по классам содержаний, так как в сопоставлении участвовало небольшое количество рудных интервалов (таблица 2.2.1).

Таблица 2.2.1. Количество РИ, участвовавших в сопоставлении

Интервалы				
Группа	Сопоставлено	Исключено	Всего	
Проницаемые	100 ↔ 300	19	12	31
	300 ↔ 600	19	4	23
	> 600	31	4	35
Непроницаемые	22	17	39	

В каждом классе содержаний были проведены расчеты:

1. Присутствие систематической погрешности по временному распределению Стюдента **t-статистики** для мощности рудного интервала и метропроцента. Систематическая ошибка принимается незначимой, при соблюдении условия:

$$t(z) < t_{кр}^{(1)}$$

2. Оценка однородности выборки по статистике Смирнова для мощности интервала и метропроцента. Оценка является однородной при условии если:

$$\zeta \leq \zeta_{кр}^{(1)}$$

3. Подсчитано случайное расхождение S для единичного определения метропроцента по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(x_i - y_i)}{y_i} \right]^2}$$

и для мощности:

$$s = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

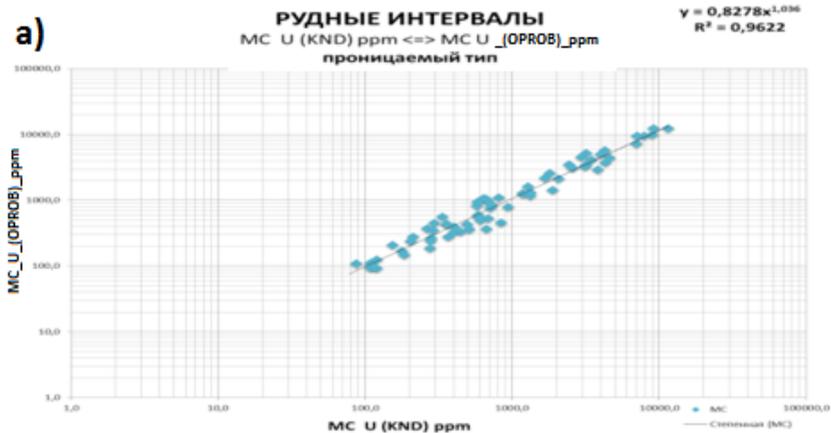


Таблица 2.2.2: Результаты анализа рудных интервалов MC ppm и M (мощности) U (KND) <=> U (OPROB)

Сопоставляемые параметры	Класс содержаний	Значения сопоставляемых параметров		Относительное расхождение, Дение, (%)	Значимость систематических расхождений			Среднеквадратичные расхождения		
		Лаб. анализы	КНД-м		P=0,95%	P=0,99%	t расч.	S деп	S	
Проницаемые	Σ M, m	26,70	26,70							
		32,70	35,20							
		66,10	73,70							
	Δ M, m	1,48	1,48	0,0%	2,093	0,00	2,86	12,7 см		
		1,72	1,85	0,76%	2,093	1,11	2,83	19,4 см		
		2,13	2,38	11,5%	2,036	3,46	2,73	20,9 см		
	Σ MC_U, ppm	5 571,08	5 891,10							
		13 977,10	14 630,31							
		122 887,74	104 659,12							
	Δ MC_U, ppm	308,2	326,1	5,8%	2,093	0,46	2,86	15,7%		
		735,64	770,02	4,7%	2,093	0,55	2,83	18,5%		
		3 963,99	3 376,10	-14,8%	2,036	1,00	2,73	24,2%		
	Δ C_U, ppm	205,1	207,1	1,0%						
		417,02	430,59	3,3%						
		2 062,18	1 484,78	-28,0%						
Непроницаемые	Σ M, m	18,00	18,60	3,3%	2,063	2,796	25 см	19,2 см		
	Δ M, m	0,82	1,85							
	Σ MC_U, ppm	5 547,08	10 170,05							
	Δ MC_U, ppm	531,25	462,28	-13,0%	2,063	1,37	2,796	38,4%		
	Δ C_U, ppm	769,25	587,36	-23,6%						

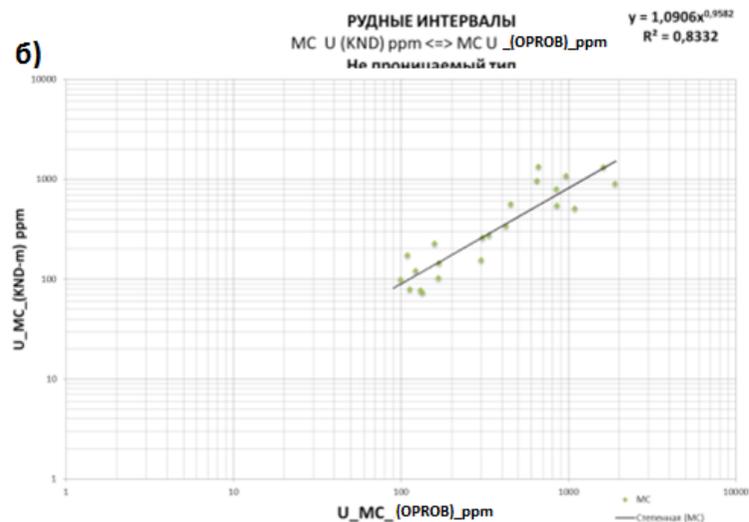


Рис. 2.2.1 График корреляции метропроцента урана MC ppm U (KND) <=> MC ppm U (ОПРОВ) для рудных интервалов: а – Проницаемые б – Непроницаемые

На Рисунке 2.2.1 (а) представлена корреляционная зависимость значений метропроцента U в проницаемых рудных интервалах по данным анализов проб и КНД-м. Зависимость описана уравнением  $y = 0,8278 \cdot x^{1,036}$  с корреляцией ( $R^2$ ) 0,962.

На Рисунке 2.2.1 (б) представлена корреляционная зависимость значений метропроцента U в непроницаемых рудных интервалах по данным анализов проб и КНД-м. Зависимость описана уравнением  $y = 1,906 \cdot x^{0,9582}$  с корреляцией ( $R^2$ ) 0,8332.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В обоих типах сопоставления, с увеличением среднего содержания урана в пробах и рудных интервалах, возникает систематическое увеличение относительной и среднеквадратической погрешностей.

Так, превышение допустимого значения среднеквадратической погрешности ( $\pm 25\%$ ) при сопоставлении данных метода КНД-м с лабораторными данными по опробованию в проницаемых пробах наблюдается при средних содержаниях урана свыше 2000 ppm, а в непроницаемых пробах – уже в первой группе средних содержаниях урана (100 ppm ↔ 1000 ppm).

На основании результатов, проведенных сопоставлений определений метропроцента и мощности рудных интервалов по данным лабораторных анализов и метода КНД-м в интерпретированных рудных интервалах, можно наблюдать неплохую точность метода КНД-м. Корреляция рудных интервалов по анализам и методу КНД-м составила 0,962%, а среднеквадратическая погрешность по мощности и метропроцента во всех группах содержаниях не превышает 25 см и 25 % соответственно.

Установлено присутствие систематического расхождения мощности рудных интервалов, определенных по лабораторным анализам опробования керна и методу КНД-м. Основная причина в том, что при разбивке рудного интервала на пробы (для определения в них содержания U и Ra лабораторным путём), длина пробы у границы рудного интервала зачастую превышает рекомендуемую (требуемую) длину - 0,10-0,20 м (согласно Инструкции по гамма-каротажу на пластово-инфильтрационных месторождениях, Алматы 2009 г.). Увеличение мощности пробы на границах рудного интервала (более 0,20 м) приводит как к разубоживанию содержания U в интервале опробования, так и к увеличению истинной мощности рудного интервала.

Подводя итоги, можно сделать вывод о том, что метод КНД-м возможно применять с целью определения содержания урана в рудном интервале с определённой достоверностью и в определённых пределах содержания. На качественном уровне метод работает достоверно и позволяет отсекают радиевые ореолы мощностью более 20 см на границах рудных тел.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

*Эдомская М.А. Быченко А.Н., Желтов Д.А., Рязанова Л.А.,  
Гусева Н.В., Ежова С.В.*

Институт Ядерной Физики, г. Алматы, РК

Природные экосистемы испытывают большую антропогенную нагрузку из-за интенсивного развития промышленности и транспортной сети. Известно, что растительность чувствительна к загрязнению окружающей среды, причем влияние техногенных факторов в одинаковой степени испытывают как культурные растения, так и сорняки. Среди загрязняющих веществ, которые в значительных количествах поступают в окружающую среду и могут накапливаться растениями, выделяется группа тяжелых металлов. Все чаще возникает необходимость установления корреляции между накоплением тяжелых металлов в растениях, участвующих в пищевой цепочке и степенью загрязнения окружающей среды. Поэтому важной задачей является разработка методов определения тяжелых металлов в растительности.

Основными наиболее эффективными способами определения металлов являются атомная абсорбционная спектрометрия (ААС), атомная эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) и масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС).

Целью данной работы является разработка методики выполнения измерений (МВИ) содержания химических элементов в растительности методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Необходимость разработки также обусловлена отсутствием упомянутой МВИ в нормативной базе Республики Казахстан.

Объектом исследований МВИ является растительность, произрастающая на территориях с неблагоприятной экологической обстановкой. МВИ подлежит использованию в аналитических лабораториях, научно-исследовательских организациях, специализированных экологических учреждениях при исследовании объектов экологического мониторинга и продовольственного сырья растительного происхождения на территории Казахстана.

Для выполнения работ по разработке методики авторами использовался квадрупольный масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ELAN 9000 производства PerkinElmer SCIEX (Рисунок 1) с диапазоном измеряемых масс от 2 а.е.м. до 270 а.е.м. Выполнены экспериментальные работы по выбору оптимальных инструментальных параметров масс-спектрометра. Критериями выбора являлись максимальные чувствительность и экспрессность измерений, минимальное влияние биоматрицы пробы. В результате были выбраны следующие параметры:

- мощность, подводимая к плазме: 1300 Вт;
- напряжение на ионной линзе: от 4 В до 15 В (настраиваемое);
- поток газа распылителя: от 0,8 л/мин до 1,0 л/мин (настраиваемый);
- разрешение на 10 %-й высоте пика:  $0,7 \pm 0,1$  а.е.м.

Предлагаемый метод определения массовой доли химических элементов в образцах растительности основан на предварительном кислотном разложении пробы с микроволновым нагревом, для чего использована микроволновая система разложения SpeedWave four (Berghof). Микроволновое разложение обеспечивает полную кислотную минерализацию пробы при высокой температуре в герметично замкнутом объеме автоклава. Полученный раствор разбавляется и выполняется его масс-спектрометрическое измерение. Определение массовой доли каждого из восемнадцати химических элементов выполняется в результате одного цикла измерения образца.

Функциональная схема реализации МВИ представлена на рис. 2.



Рисунок 1. Квадрупольный масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ELAN 9000

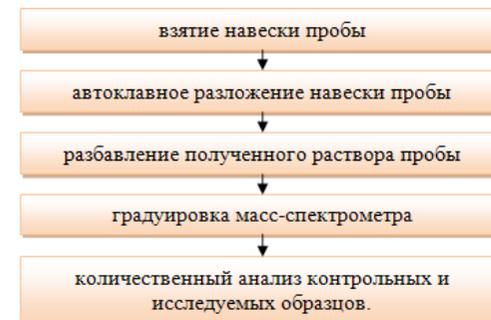


Рисунок 2. Функциональная схема МВИ содержания химических элементов в растительности методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой

Для оценки значимости влияния растительной биоматрицы выбран метод стандартных добавок [1]. Выполнено 15 единичных измерений в условиях промежуточной прецизионности с двумя параллельными определениями проб без добавки и добавкой. По результатам обработки полученных данных в соответствии с алгоритмом [1, 8.3] установлено, что инструментальная систематическая погрешность не значима, т.е. биоматрица, не оказывает значительного влияния на масс-спектрометрическое измерение выбранных аналитов.

Ввиду не значимости инструментальной систематической погрешности и отсутствия стандартных образцов растительности, обеспечивающих требуемый диапазон содержаний и состав аналитов, нами использованы аттестованные смеси (АС) [2, 3] упрощенного состава для метрологического исследования МВИ методом оценки погрешности и неопределенности результатов измерений с помощью образцов для оценки (ОО) [1, 9.4].

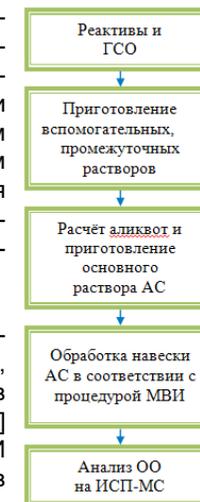


Рисунок 3.

Процедура подготовки ОО и их масс-спектрометрическое измерение (Рисунок 3) осуществлялась в соответствии с процедурой подготовки проб растений и рекомендаций [4].

Для построения градуировочных характеристик (4 точки) также были использованы аттестованные смеси, разработанные и приготовленные путем разбавления соответствующих стандартных образцов состава химических элементов (СО). Пример

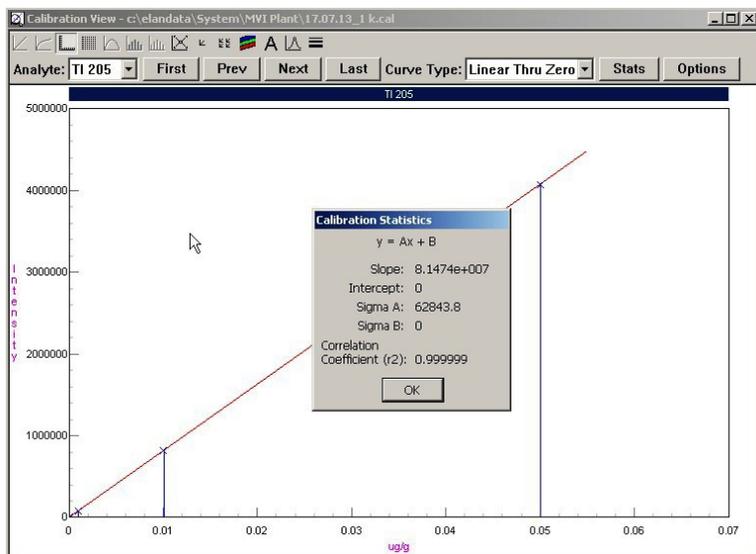


Рисунок 4. Градуировочная характеристика теллура с параметрами приемлемости

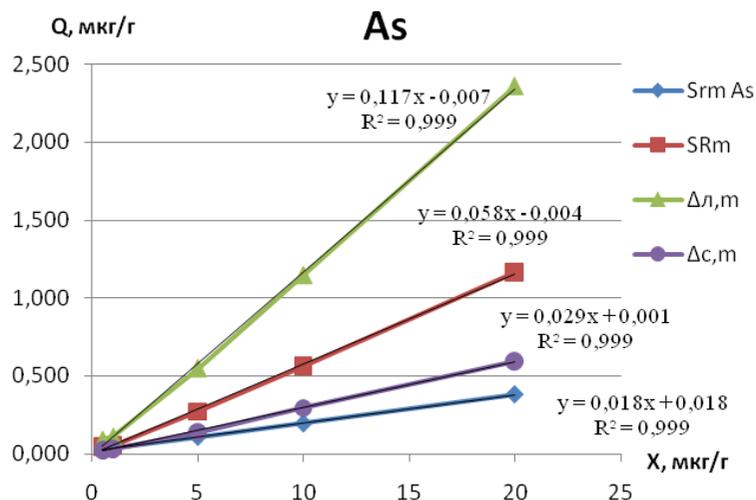


Рисунок 5. Графики зависимостей показателей качества МВИ от массовой доли мышьяка в ОО

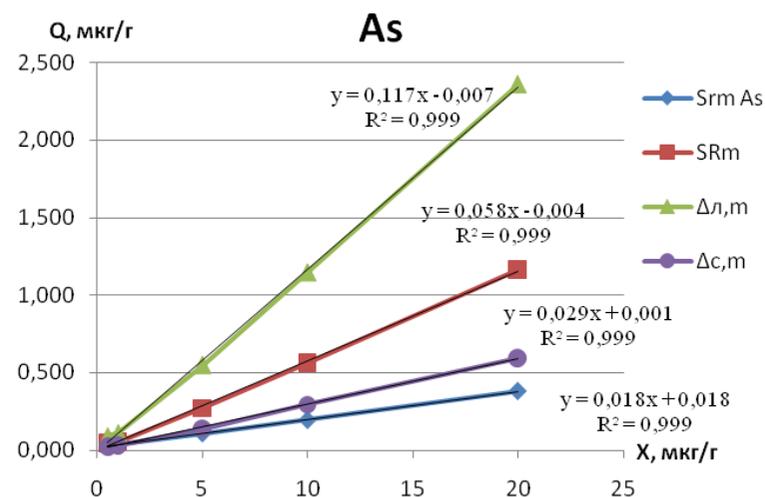


Рисунок 6. График зависимости величины расширенной неопределённости результатов измерений от массовой доли мышьяка в пробах растительности

построения градуировочной характеристики показан на Рисунок 4.

Для каждого из 18 химических элементов, по результатам 15 единичных измерений в условиях промежуточной прецизионности (n=2) для каждой из 5 точек диапазона содержания аналитов, рассчитаны показатели качества МВИ: повторяемости ( $S_{rm}$ ), внутрилабораторной прецизионности ( $S_{Rm}$ ), правильности ( $\Delta_{с,м}$ ), точности ( $\Delta_{л,м}$ ) и расширенной неопределённости (k=2). В качестве примера, на Рисунок 5 и 6 приведены функциональные зависимости показателей качества МВИ от массовой доли мышьяка в пробе растительности.

Основные показатели качества методики приведены в Таблице 1 в виде функциональных зависимостей.

Таблица 1. Приписанные характеристики МВИ, в расчёте на сухую навеску

Хим.эп.	Диапазон определения массовой доли, мкг/г	Показатель качества методики, мкг/г		
		Повторяемость, $\sigma_m$	Внутрилабораторная прецизионность,	Точность, $\Delta_{л,м}$
Al	от 3,0 до 800 включ.	$y = 0,021x+0,261$	$y = 0,066x-0,137$	$y = 0,135x-0,276$
As	от 0,5 до 20 включ.	$y = 0,018x+0,018$	$y = 0,058x-0,004$	$y = 0,117x-0,007$
Ba	от 0,4 до 150 включ.	$y = 0,014x+0,039$	$y = 0,051x+0,027$	$y = 0,104x+0,056$
Be	от 0,1 до 15 включ.	$y = 0,019x+0,009$	$y = 0,067x+0,000$	$y = 0,137x+0,000$
Cd	от 0,4 до 15 включ.	$y = 0,021x+0,008$	$y = 0,041x+0,002$	$y = 0,091x+0,020$
Co	от 0,4 до 15 включ.	$y = 0,022x+0,011$	$y = 0,045x+0,009$	$y = 0,091x+0,020$
Cr	от 0,5 до 150 включ.	$y = 0,021x+0,026$	$y = 0,050x+0,045$	$y = 0,101x+0,092$

Cu	от 0,5 до 150 включ.	$y = 0,012x + 0,085$	$y = 0,048x + 0,043$	$y = 0,099x + 0,088$
Li	от 0,2 до 50 включ.	$y = 0,021x + 0,020$	$y = 0,065x + 0,018$	$y = 0,132x + 0,039$
Mn	от 1,0 до 800 включ.	$y = 0,021x - 0,056$	$y = 0,043x + 0,148$	$y = 0,087x + 0,301$
Mo	от 0,5 до 50 включ.	$y = 0,016x + 0,018$	$y = 0,050x + 0,009$	$y = 0,101x + 0,020$
Ni	от 0,5 до 150 включ.	$y = 0,015x + 0,072$	$y = 0,052x + 0,131$	$y = 0,106x + 0,266$
Pb	от 0,5 до 50 включ.	$y = 0,012x + 0,018$	$y = 0,040x + 0,015$	$y = 0,082x + 0,033$
Sb	от 0,2 до 5,0 включ.	$y = 0,017x + 0,005$	$y = 0,049x + 0,005$	$y = 0,100x + 0,011$
Tl	от 0,1 до 5,0 включ.	$y = 0,013x + 0,004$	$y = 0,050x + 0,001$	$y = 0,103x + 0,004$
U	от 0,1 до 15 включ.	$y = 0,014x + 0,012$	$y = 0,042x + 0,005$	$y = 0,085x + 0,012$
V	от 0,2 до 15 включ.	$y = 0,014x + 0,019$	$y = 0,051x + 0,017$	$y = 0,105x + 0,036$
Zn	от 0,6 до 500 включ.	$y = 0,024x + 0,154$	$y = 0,047x + 0,298$	$y = 0,096x + 0,605$

Примечание:  $y$  – показатель качества МВИ;

$x$  – массовая доля химического элемента в сухой навеске пробы.

В настоящее время пакет документов составляющих данную МВИ подготовлен к метрологической аттестации в государственных органах РК.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. РМГ 61-2010 ГСОЕИ. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. Приняты Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 38 от 25 ноября 2010 г.).
2. СТ РК 2.10-2009 Смеси аттестованные. Порядок разработки, аттестации и применения. Введён 05.08.2009 г.
3. РМГ 76-2004 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа.
4. Методические указания. МУК 4.1.985-00. Зарегистрированы в РК ЮФ РГП КазИнСт, № 022/10532 от 14.04.2006.

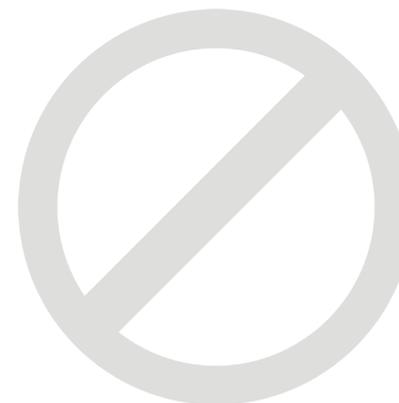
#### СОДЕРЖАНИЕ

«ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ» <b>Акжаркенов М.Д.</b> .....	3
«АНАЛИЗ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОМПОЗИТНОГО УРАН-ГАДОЛИНИЕВОГО ТОПЛИВА» <b>Алдажаров Т.М., Русин Ю.Г.</b> .....	8
ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОГО РАССЕЙЯНИЯ ИОНОВ АЗОТА НА ЯДРАХ $^{12}\text{C}$ , $^{16}\text{O}$ И $^{27}\text{Al}$ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ВБЛИЗИ КУЛОНОВСКОГО БАРЬЕРА <b>Н.Буртебаев, Ж.К. Керимкулов, Д.К. Алимов, Д.М. Джансейтов, Е.С. Мухамеджанов, Н. Амангелды, А.К. Морзабаев А.С. Аймаганбетов, Д.Б. Кадыржанов, Н.М. Култазин, Е.Н. Салимов, А.Н.Бахтибаев</b> .....	16
ОЦЕНКА ВКЛАДА ПОЛИГОНА «АЗГИР» В ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПОЛИГОНУ <b>В.А. Артемова, М.А. Севериненко, О.С. Мильц, И.М. Николаев</b> .....	20
ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗИФИКАЦИИ РЕАКТОРНЫХ ГРАФИТОВ <b>С.К. Аскербекоев, Е.В. Чихрай, В.П. Шестаков, Т.В. Кульсартов, А.О. Муканова, И.Е. Кенжина</b> .....	25
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТРИТИЯ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВР-К <b>Байметов М.А., Мильц О.С., Глуценко В.Н., Харкин П.В.</b> .....	43
АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАДОНА И ТОРОНА НА УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ <b>Халенов О.С. Балтабаев А.Ж.</b> .....	49
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» <b>Блынский П.А.</b> .....	52
РАЗРАБОТКА ГИС-ПРОЕКТА В РАМКАХ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА УЛЬБИНСКОМ УЧАСТКЕ <b>М.Г. Гаджимагомедова, А.М. Яковенко, Е.Ю. Пестов, А.Е. Великанов</b> .....	59
ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ <b>Ермаков Е.Л., Тиванова О.В., Глуценко Д.В.</b> .....	65

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРИУМА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ <i>Гречаник А.Д., Кукушкин И.М., Бакланов В.В.</i> .....	73
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАССЕЙЯНИЯ АЛЬФА-ЧАСТИЦ НА ЯДРАХ <sup>13</sup> C <i>Буртебаев Н., Буртебаева Д.Т., Бактыбаев М.К., Оглоблин А.А., Демьянова А.С., Сакута С.Б., Хамада Ш.З., Джансейтов Д.М., Насурлла М., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С.</i> .....	84
РЕГИСТРАЦИЯ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТЕОРИТА СТАНЦИЯМИ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА КАЗАХСТАНА <i>Дубровин В.И., Смирнов А.А.</i> .....	89
КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УРАНОНОСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УЧАСТКА № 2 ТОРТКУДУК МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОИНКУМ ДО И ПОСЛЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ <i>Есжанова Д.А., Жолдасбеков К.А.</i> .....	99
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРИТИЯ И ГЕЛИЯ С ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ В УСЛОВИЯХ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ <i>И.Е. Кенжина, Т.В. Кульсартов, Е.В. Чихрай, Ж.А. Заурбекова, Ю.Н. Гордиенко, В.П. Шестаков, А.О. Муканова, С.К. Аскербекоев</i> .....	111
ОТРАБОТКА РУДНЫХ ТЕЛ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ НА ВОСТОЧНОМ УЧАСТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЫНКУДУК <i>И.Л. Колосов</i> .....	116
ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАПАСОВ РАСПОЛЕЖЕННЫХ НА ПЕРИФЕРИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СЕВЕРНЫЙ И ЮЖНЫЙ КАРАМУРУН» <i>Курманов Г.К., Байназаров Б.</i> .....	125
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕМБРАННЫХ ФИЛЬТРОВ НА СБРОСНЫХ РАСТВОРАХ В АФФИНАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Мащенко В.В., Нуржанов К.Е., Айдуисенов Б.А., Мауленов Д.Е.</i> .....	134
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕГКИХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ЯДРАМИ <sup>11</sup> B <i>Н. Буртебаев, М.К. Бактыбаев, Д.Т. Буртебаева, Ж.К. Керимкулов, Е.С. Мухамеджанов, Д.К. Алимов, Д.М. Джансейтов, С.В. Артемов, А. Караходжаев, Ш. Хамада, Н.О. Садуев</i> .....	142
К МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСПЛАВА МАТЕРИАЛОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ БЫСТРОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА <i>И.И. Дерявко, И.М. Кукушкин, Н.Е. Мухамедов, А.В. Пахниц, В.В. Саблук, М.К. Скаков</i> .....	147

О ПРИЧИНАХ НЕСООТВЕТСТВИЯ ОЦЕНОК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В РАЗЛИЧНЫХ ЦЕНТРАХ ДАННЫХ <i>Рябенко О.В.</i> .....	152
ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВКЛАДА ПОЛИГОНА АЗГИР В ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ПРИЛЕГАЮЩИХ НАСЕЛЕННЫМ ПУНКТАМ <i>Севериненко М.А., Артемова В.А., Левашов М.А., Коротчина Л.В., Мильц О.С., Полешко А.Н., Глущенко В.Н.</i> .....	158
ПОДГОТОВКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КАДРОВ В КАЗНУ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ <i>Белисарова Ф.Б., Таукенова А.С., Бошкаев К.А., Мырзакул Т.Р., Балгимбеков Г.Ш.</i> .....	163
НОВАЯ МЕТОДИКА ОЦИФРОВКИ ИСТОРИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ <i>Узбеков А.Н., Великанова А.А., Алещенко И.Б.</i> .....	165
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН МЕТОДОМ КНД-м <i>Чаталбаш А.Е., Берестнев Н.В.</i> .....	170
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ <i>Эдомская М.А. Быченко А.Н., Желтов Д.А., Рязанова Л.А., Гусева Н.В., Ежова С.В.</i> .....	184

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**



Формат 148x210 мм  
Гарнитура Arial, кегль 9  
Тираж 300.

Дизайн и верстка: Алиев С.А.

Отпечатано в типографии:  
ТОО «Типография Форма Плюс», г. Караганда,  
ул. Молокова, дом №106, корпус 2. КНП 710.