



# ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА





**Ядерный потенциал  
Казахстана**

Алматы, 2012 г.



УДК 621.039  
ББК 31.4  
Я.32

Я.32 Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов /  
ассоциация «Ядерное общество Казахстана» - Алматы, 2012 - 160 стр.

ISBN 9965-675-76-7

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

На семинарах обсуждаются проблемы уранодобывающей промышленности; производства ядерного топлива; атомной энергетики, ядерной физики, радиоэкологии, 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, ИГИ НЯЦ РК, КАТЭП-АЭ, а также студентов КазНУ им. аль-Фараби и КазНТУ им. Сатпаева.

В данном сборнике представлены материалы семинаров 2012 г.

УДК 621.039  
ББК 31.4

ISBN 9965-675-76-7

## РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ

*Абулкасимов А.Б.*  
*ИВТ, г.Алматы, Казахстан*

### **По замене углеаммонийной соли на резкстракции:**

- снижение удельных расходов реагентов при резкстракции;
- повышение эффективности процесса экстракционной перечистки товарных десорбатов;
- изучение возможности перехода на жидкофазную резкстракцию и осаждение реагентами – осадителями.

### **По замене десорбирующих растворов:**

- оценка применения сульфатной десорбции для переработки продуктивных растворов предприятий АО «НАК «Казатомпром».

Использование урана в атомной технике основано на специфических свойствах урана, отличных от свойств многих других цветных и редких металлов – радиоактивном распаде и способности расщепляться под действием нейтронов с выделением большого количества энергии. На сегодняшний день развитие науки и техники в современном мире определяется невиданным по своим масштабам научно-техническим прогрессом, характерной чертой которого является очень быстрый рост энерговооруженности производства. Особенностью научно-технического прогресса является ускоряющееся развитие атомной энергетики, которая становится все более весомой составляющей в производстве электроэнергии. При этом ситуация осложняется тем, что по данным «The Ux Consulting Company», на спотовом рынке стоимость концентрата закиси-окиси урана за последние месяцы понизилась \$53,65 до \$49,95 за фунт, передает Kazakhstan Today от 22.08.2012. Возрастающие потребности в уране могут быть удовлетворены за счет усовершенствования некоторых процессов, существующих в традиционной технологии переработки продуктивных растворов.

В данной работе исследовались условия повышения эффективности экстракционного и сорбционно-десорбционного переделов путем замены и снижения удельных норм расхода реагентов на этапах резкстракции и десорбции.

В настоящее время большинство схем переработки товарных десорбатов урана на предприятиях АО «НАК «Казатомпром» ориентировано на получение технической закиси – окиси урана. Так, типовая схема получения технической  $U_3O_8$  включает в себя:

– переработку нитратно-сульфатных десорбатов экстракцией смесью (Д2ЭГФК + ТАА + УВС);



– твердофазную реэкстракцию растворами  $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ,  $+\text{NH}_3$  с получением кристаллов аммонийуранилтрикарбоната (АУТК) и последующей их прокалкой при (650 – 750 – 850°C).

Несмотря на достоинства данного способа, он не лишен недостатков: бикарбонат аммония уже при комнатной температуре начинает разлагаться с выделением углекислого газа и аммиака, а при 60°C распадается нацело. Данный фактор обуславливает высокий расход углеаммонийной соли 2,3-2,5 кг/кг урана, поэтому вопрос снижения затрат на этапе экстракционного аффинажа товарных десорбатов является актуальным. Целью данного проекта является повышение эффективности экстракционного передела путем замены и снижения удельных норм расхода реагентов на реэкстракцию.

На операции десорбции основные затраты заключаются в расходе аммиачной селитры. На добычных предприятиях АО НАК «КАЗАТОМПРОМ» коэффициент расхода селитры на килограмм урана колеблется в пределах от 2,4 до 3 кг/кг. Проведенные ранее технико-экономические расчеты показали, что при переработке сернокислотных продуктивных растворов ПВ наиболее экономичным для десорбции урана с анионитов различного типа является использование растворов серной кислоты. Преимуществом сернокислотной десорбции является также большая экологическая совместимость этого процесса. Переход на сульфатную десорбцию позволит избежать введения процесса денитрации и снизить затраты на десорбционный передел.

Экспериментальные работы по замене углеаммонийной соли при экстракции урана первоначально проводились на модельных урансодержащих растворах, приготовленных из химического концентрата природного урана (ХКПУ), поставляемого на АО «УМЗ» для переработки. Растворы были приготовлены в соответствии с составом используемого для экстракции товарного десорбата. При дальнейших экспериментах по отработке жидкофазной реэкстракции урана из смеси экстрагентов Ди2ЭГФК с ТАА выбраны в качестве реэкстрагента растворы УАС с концентрацией 5-10%. В лабораторных условиях была проверена возможность использования для жидкофазной реэкстракции растворов соляной кислоты с концентрацией от 4М до 10М. Процесс жидкофазной реэкстракции был проверен и отработан на растворе товарного десорбата ТОО «Степное-РУ» и растворе экстрагента, отобранного на ТОО «Таукентское горно-химическое предприятие».

По результатам исследований были сделаны выводы:

- Применение растворов концентрированных кислот  $\text{HCl}$  и  $\text{HF}$  на реэкстракции урана из смеси экстрагентов Ди2ЭГФК с ТАА не пригодны к использованию.
- Опробование растворов солей сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  с концентрацией 2М, а также смеси этого раствора с раствором УАС с концентрацией 5% и 10% , растворов 0,1М  $\text{NH}_4\text{Cl}$  с добавкой 0,05М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , раствора 0,9М  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  с 0,1М  $\text{HNO}_3$  также не привело к положительному результату.
- Исследования с использованием растворов УАС низких концентраций 5%, 7%,

10% показали, что жидкофазная реэкстракция возможна. Эксперименты проводились способом прямого тока при соотношении органической и водной фаз  $\text{O}:\text{B}=1:1$ . Деление водной и органической фаз после контакта в течение 3 мин проходит быстро и без образования эмульсий на границе раздела фаз. Нагрев реэкстрагента до 30°C способствует повышению эффективности реэкстракции за счет сокращения количества контактов органической и водной фаз при максимально возможном извлечении урана из экстракта. Содержание урана в реэкстрагированной органической фазе составляло 0,027-0,045 г/л.

Исследования десорбции проводились в статических и динамических условиях на заводской насыщенной смоле Ambersep 920U  $\text{Cl}^-(\text{SO}_4)^{2-}$  с содержанием урана 52,6 г/кг, используемой на месторождении Степное-РУ.

Для выяснения оптимальных параметров сульфатной десорбции были проведены статические исследования процесса. В процессе изучения варьировалась кислотность и содержание сульфатов в десорбирующем растворе. Полученные данные дают на основании статического исследования рассчитать параметры десорбции в динамическом режиме.

Для проведения десорбции в динамике использовали лабораторные колонки объемом 30 мл, 100 мл. Десорбирующий раствор подавался снизу вверх порциями с  $\text{УД}=1 \text{ Vp}/\text{Vq}/\text{ч}$ . На выходе из колонки через определенное время отбираются пробы (каждый час), контролируется содержание урана в элюате. Десорбция ведется до концентрации урана в элюате 1 г/л.

Результаты сульфатной десорбции при различных кислотности и содержании сульфатов в десорбирующем растворе представлены на рис. 1.

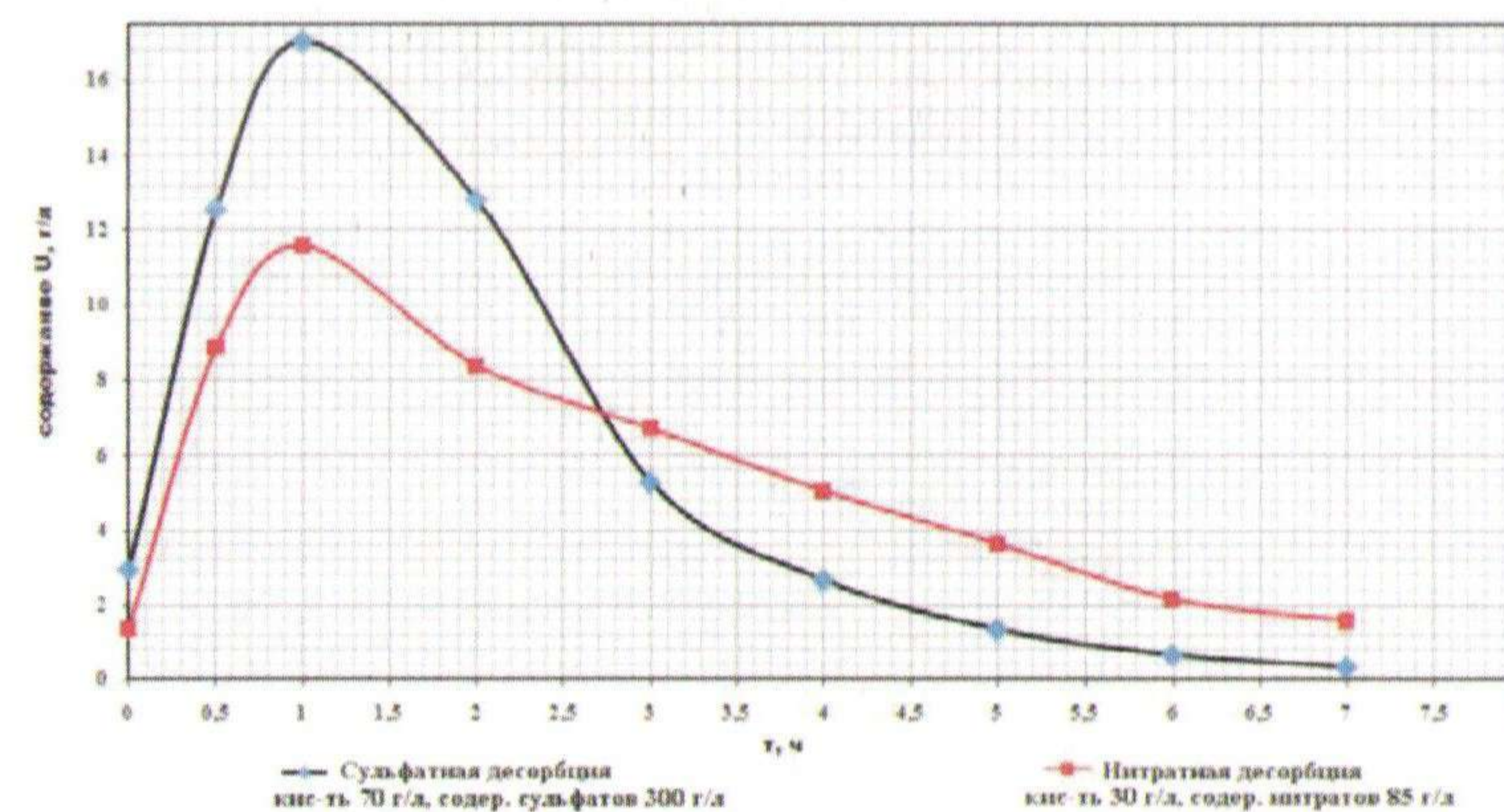


Рисунок 1 – Кривые десорбции урана с насыщенного сорбента Ambersep 920U  $\text{Cl}^-(\text{SO}_4)^{2-}$  сульфатным и нитратным способом при содержании сульфатов 300 г/л, нитратов 85 г/л.

Анализируя выходные кривые сульфатной и нитратной десорбции (рис. 1), видно,



что в первом случае получают более богатые десорбаты. Также отметим, что остаточная емкость по урану в этом случае близка к емкости, требуемой на производстве.

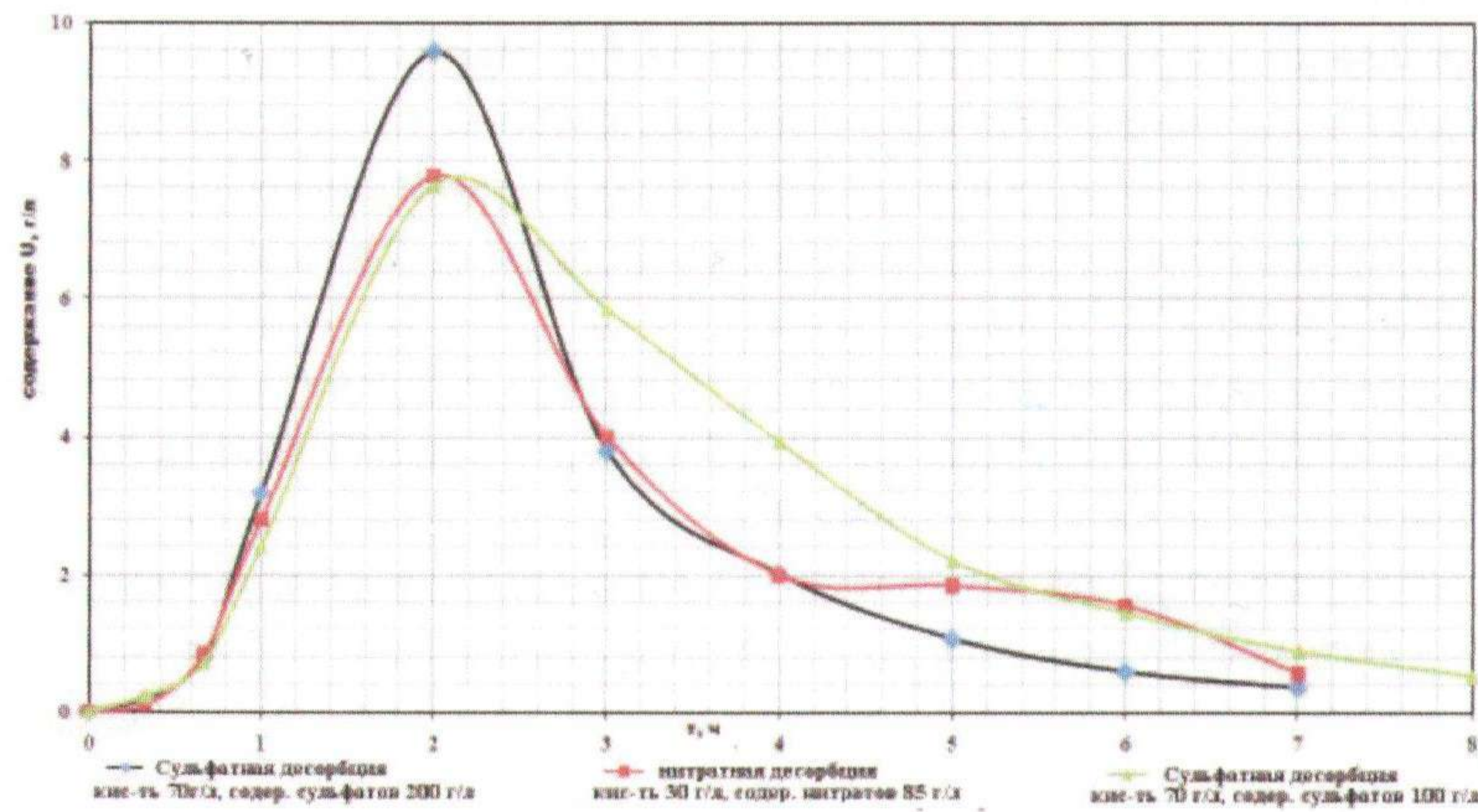


Рисунок 2 – Кривые десорбции урана с насыщенного сорбента Ambersep 920U Cl  $(SO_4)_2$ - сульфатным и нитратным способом сульфатов 200 г/л, 100 г/л, нитратов 85 г/л.

Таким образом, в работе исследованы технологические приемы, позволяющие сократить затраты на экстракционный передел. Построены изотермы сульфатной при различных концентрациях десорбирующего раствора с целью оценки применения сульфатной десорбции для переработки продуктивных растворов предприятий АО «НАК «Казатомпром».

## ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ РЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Шаймерденов А.А., Гизатулин Ш.Х., Борисов В.И.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, ул. Ибрагимова 1, 050032, Алматы, Республика Казахстан

### Абстракт

На реакторе ВВР-К существует универсальная петлевая установка (УПУ), которая предназначена для обеспечения необходимых для испытаний условий в экспериментальных каналах активной зоны. С помощью УПУ в канале с испытуемым образцом создается необходимая среда (азот/гелий/вакуум с задаваемым давлением и температурой).

Для сопровождения реакторных испытаний на УПУ создана измерительно-информационная система, которая позволяет обеспечивать on-line информацией операторов и экспериментаторов. Измерительно-информационная система представляет собой комплекс технических средств (микроконтроллеры, модули входных аналоговых и дискретных сигналов, блоки питания и т.д.), и программного обеспечения.

### ВВЕДЕНИЕ

#### ИР ВВР-К

Исследовательский реактор ВВР-К является реактором бассейнового типа на тепловых нейтронах (см. рис. 1) [1]. Теплоноситель, замедлитель и отражатель – обессоленная вода. Максимальная плотность потока тепловых нейтронов  $1,1 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. Номинальная мощность – 6МВт. На базе реактора проводятся материаловедческие исследования и внутри-реакторные испытания, производство радиоизотопов для медицины и промышленности, гамма-источников, нейтронное легирование кремния, нейтронно-активационный анализ.

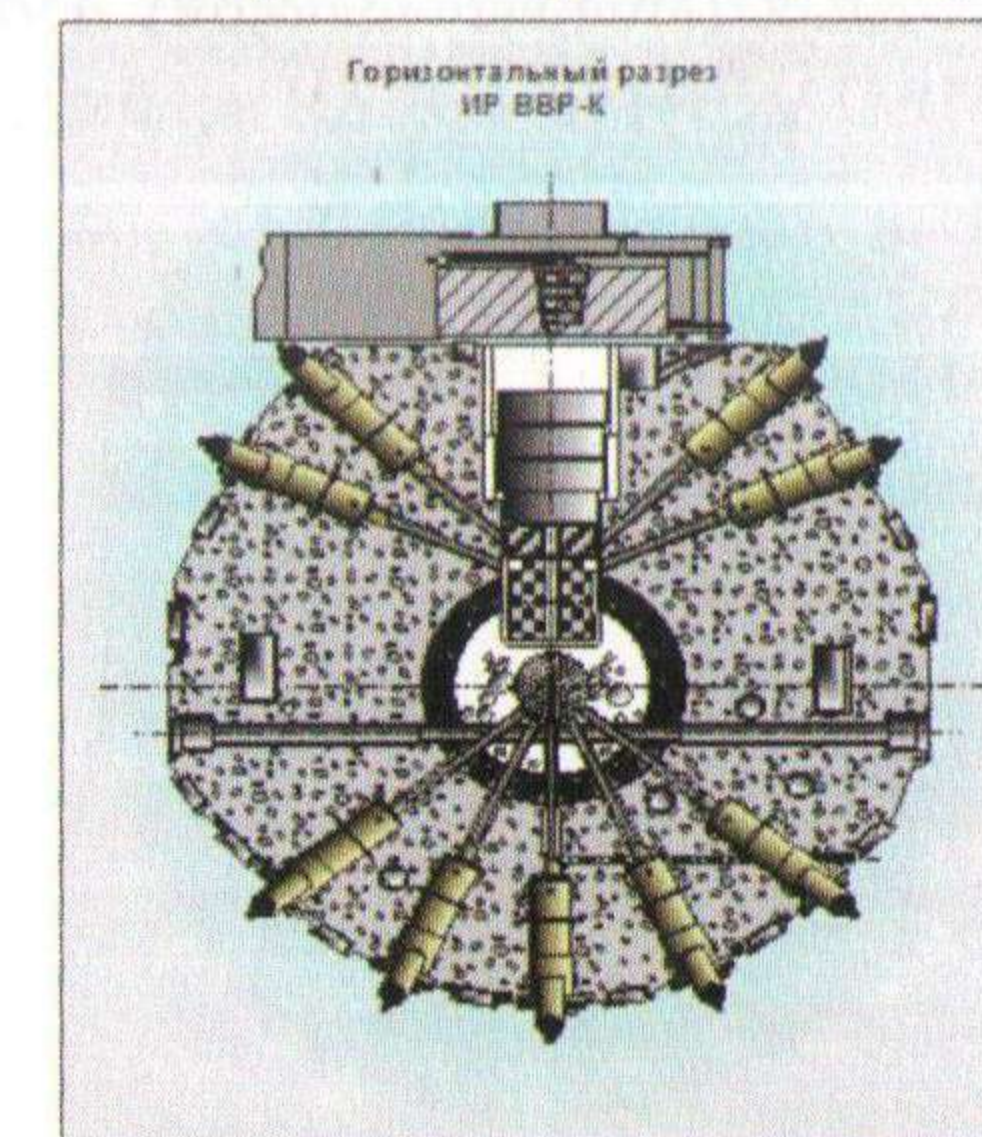


Рис. 1. Горизонтальный разрез реактора ВВР-К

На реакторе имеется следующее экспериментальное оборудование:

- Горячие камеры;
- Установка нейтронной радиографии;



- Универсальная петлевая установка;
- Облучательная гамма-установка;
- Установка для экспресс анализа геологических проб.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПЕТЛЕВАЯ УСТАНОВКА

Петлевая установка предназначена для создания вакуумной или газовой среды в исследуемом объекте при его нагреве делением ядерного топлива, прямым пропусканием электрического тока или внешними электронагревателями. В состав установки входят:

- система обеспечения глубокого вакуума и его поддержания при длительных реакторных экспериментах;
- емкости сбора и хранения радиоактивных газов, выделяющихся из исследуемого объекта, средства их эвакуации в атмосферу по достижении определенного уровня радиоактивности;
- прибор контроля элементного состава остаточного газа, выделяющегося из конструкционных материалов и ГПД ядерного топлива;
- устройство дозированной подачи газа или смеси газов и удержание необходимого количества газа в объекте испытаний;
- источники питания электронагревателей по большому числу каналов;
- сильноточный источник питания, предназначенный для нагрева образцов прямым пропусканием электрического тока;
- системы теплотехнического и дозиметрического контроля.

С использованием установки проведены и проводятся следующие испытания:

- внутриреакторные исследования термоэмиссионных электрогенерирующих сборок [2];
- длительные ресурсные испытания образцов литиевой керамики бланкета термоядерного реактора [3];
- ресурсные испытания опытных тепловыделяющих сборок с низкообогащенным топливом.

На рисунке 2 приведена схема универсальной петлевой установки.

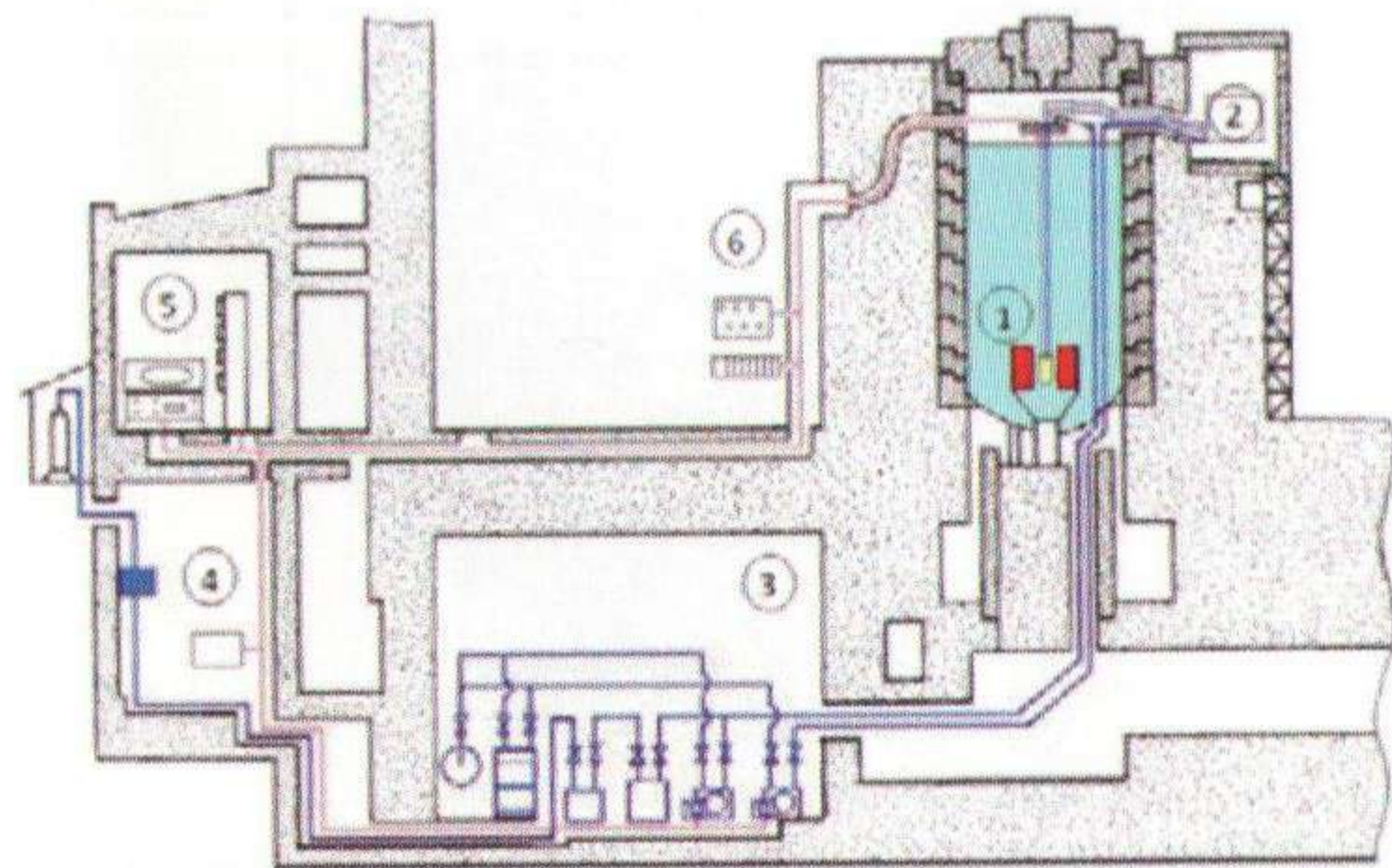


Рис.2. Схема универсальной петлевой установки

1. Активная зона реактора ВВР-К; 2. Узел газовакуумных подключений; 3. Помещение газовакуумных систем УПУ (см.рис.3); 4. Узел подачи рабочего газа; 5. Помещение пульта управления УПУ; 6. Узел коммутации термопар



Рис. 3. Газовакуумные системы универсальной петлевой установки

### ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Измерительно-информационная система представляет собой комплекс технических средств (микроконтроллеры, модули входных аналоговых и дискретных сигналов, блоки питания и т.д.), и программного обеспечения, предназначенного для информационного обеспечения операторов и экспериментаторов при испытаниях экспериментальных устройств на реакторе ВВР-К. Скриншоты программного обеспечения показаны на рисунке 4.

Технические средства, входящие в состав системы:

- контроллеры ADAM-5510;
- устройство сбора данных ADAM-5000E;
- модули входных сигналов термопар ADAM-5018;
- модули входных сигналов ADAM-5017;
- модули входных дискретных сигналов ADAM-5051D;
- блоки питания PWR-242;
- преобразователь интерфейсов RS232 – RS485 ADAM-4520;
- сервер HP tc3100;
- рабочие станции операторов.

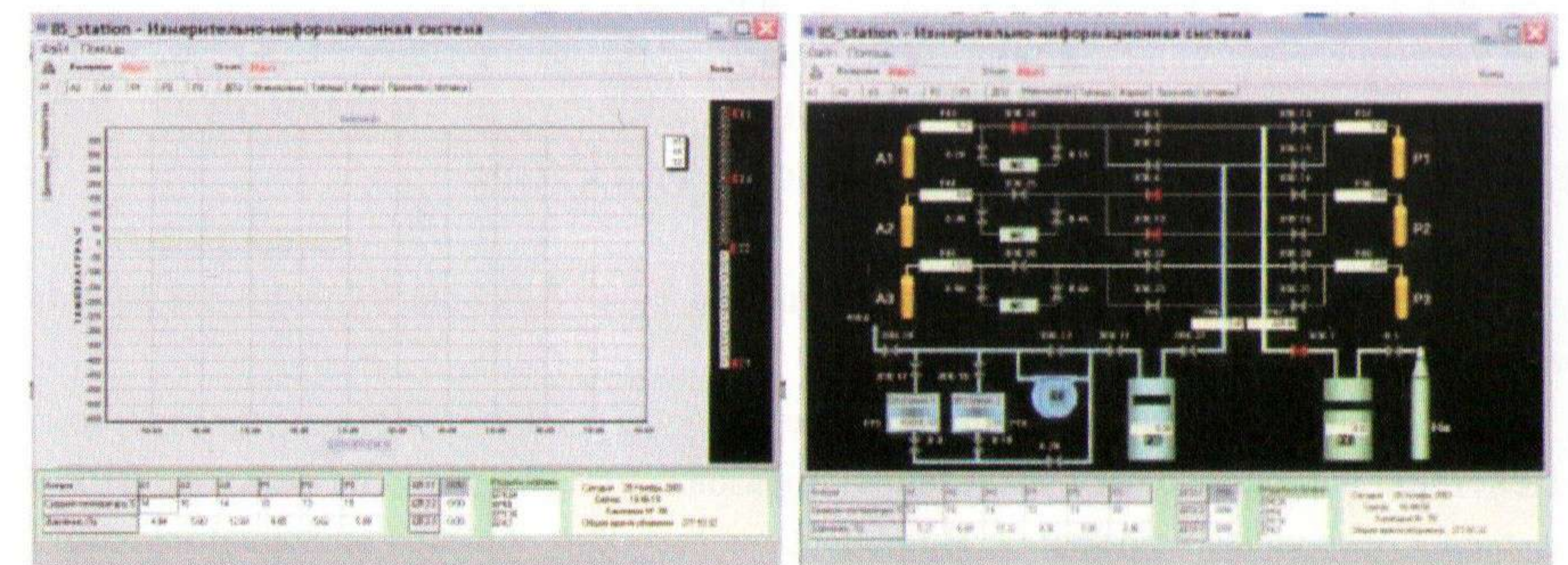


Рис. 4. Скриншоты программного обеспечения измерительно-информационной системы



## ВНУТРИРЕАКТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЭМИССИОННЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ СБОРОК

С применением УПУ и ИИС проведены ресурсные реакторные испытания элементов и модулей термоэмиссионного реактора. Исследования характеристик и ресурсные испытания термоэмиссионных твэлов космической ядерно-энергетической установки в реакторе ВВР-К проводятся с 1970 года.

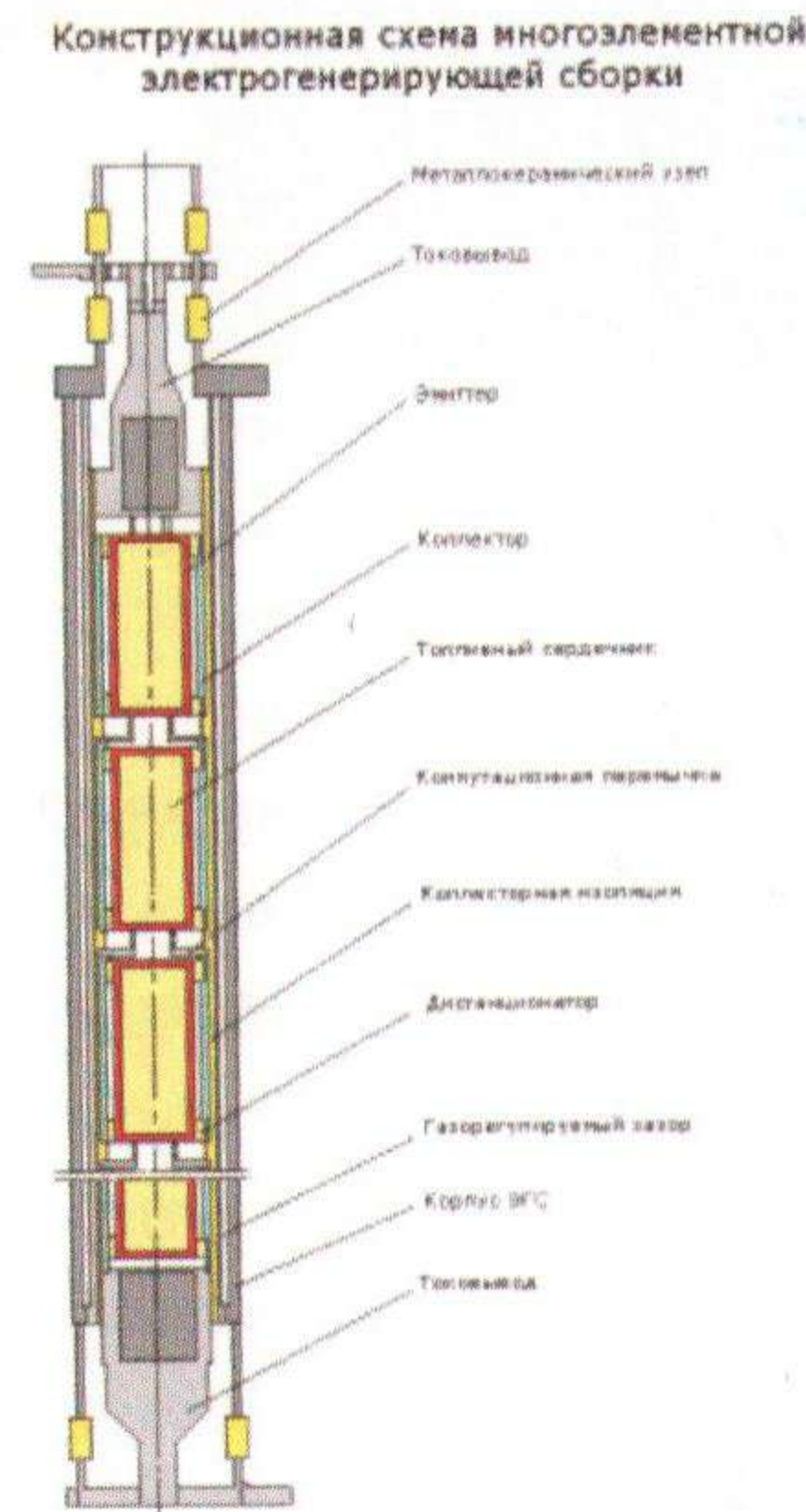


Рис. 5. Многоэлементная электрогенерирующая сборка

Достигнуты следующие результаты:

- Многоэлементный термоэмиссионный канал ЭС-6-3 работал в течение 2670 часов (см.рис. 5);
- Полная электрическая мощность сборки составила 550 Вт;
- Удельная электрическая мощность сборки составила 7 Вт/см<sup>2</sup>.

## ДЛИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ЛИТИЕВОЙ КЕРАМИКИ БЛАНКЕТА ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Одним из перспективных материалов blankets, размножающего тритий для реакторов синтеза, является литиевая керамика.

Для исследования стойкости литиевой керамики к радиационному и термическому воздействию и способности к выделению образовавшегося трития на реакторе ВВР-К проведены ресурсные испытания. В процессе испытаний образцы литиевой керамики подверглись облучению высоким флюенсом нейтронов при температуре керамики в интервале 400÷900°C с непрерывным контролем процесса выделения трития.

Получены следующие результаты:

- Получены образцы литиевой керамики с выгоранием  $(21\pm 2)\%$  атомов лития;
- Изучена динамика выделения трития из образцов при различных температурах (400°C–900°C) в процессе длительного облучения;
- Измерено содержание остаточного трития в облученных образцах, которое составило  $(2.0\pm 0.3)$  Бк/г.

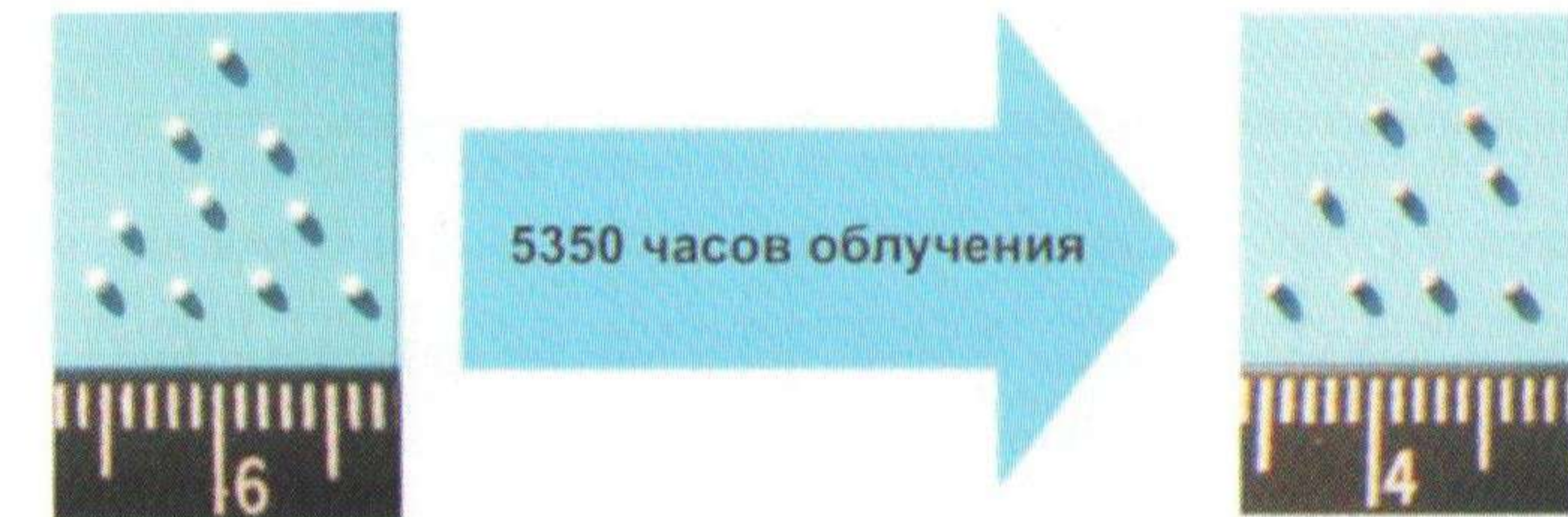


Рис. 6. Литиевая керамика до и после облучения

## РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК С НИЗКООБОГАЩЕННЫМ ТОПЛИВОМ

Агентством Республики Казахстан по атомной энергии получено разрешение на проведение ресурсных испытаний опытных ТВС в активной зоне реактора ВВР-К и в марте 2011 года начаты испытания. Испытания продлятся два года, до достижения среднего выгорания в ЭТВС 60%. На сегодняшний день достигнуто выгорание в ЭТВС 44%.

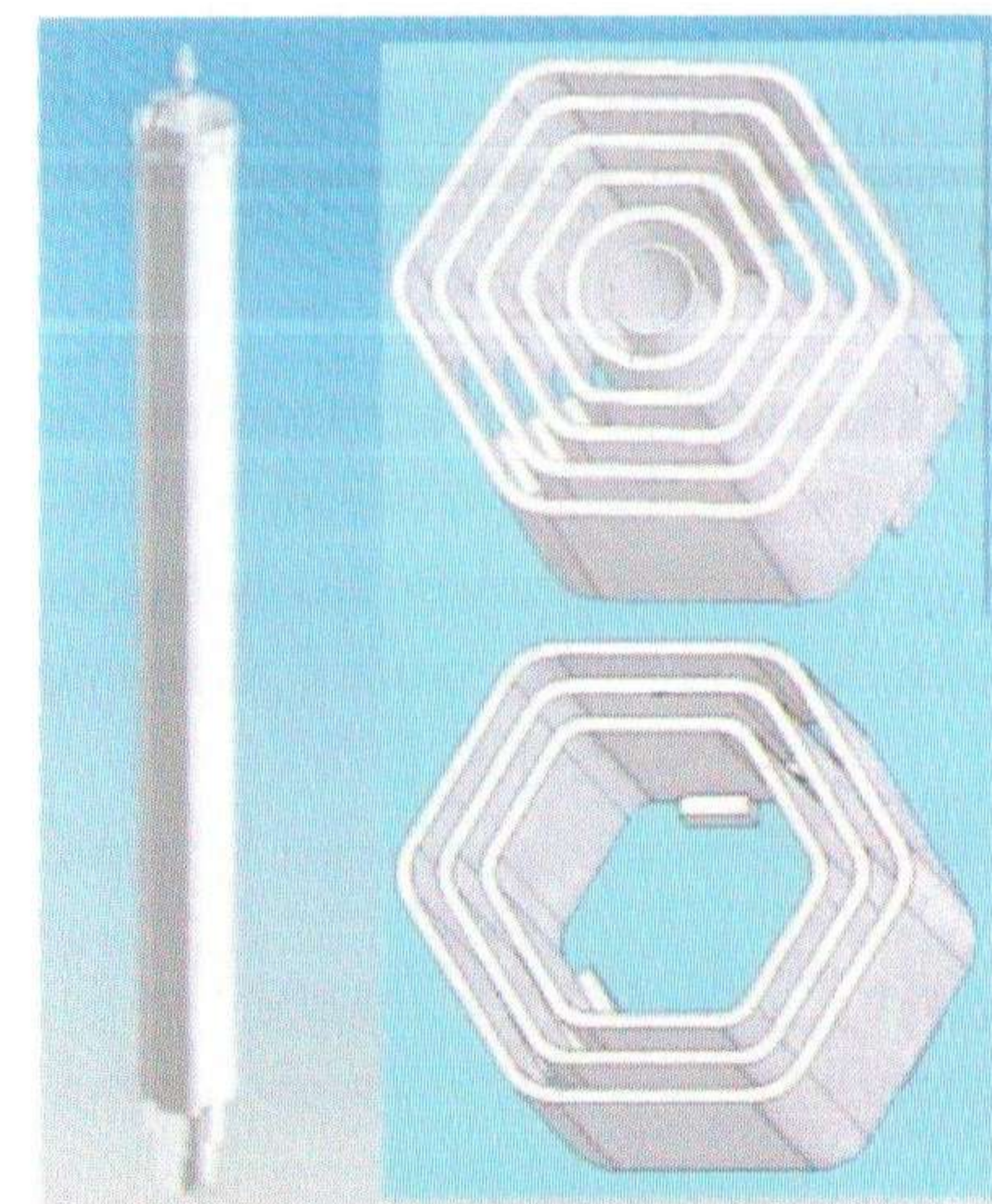


Рис. 7. ТВС ВВР-Ц с обогащением по урану-235 36%

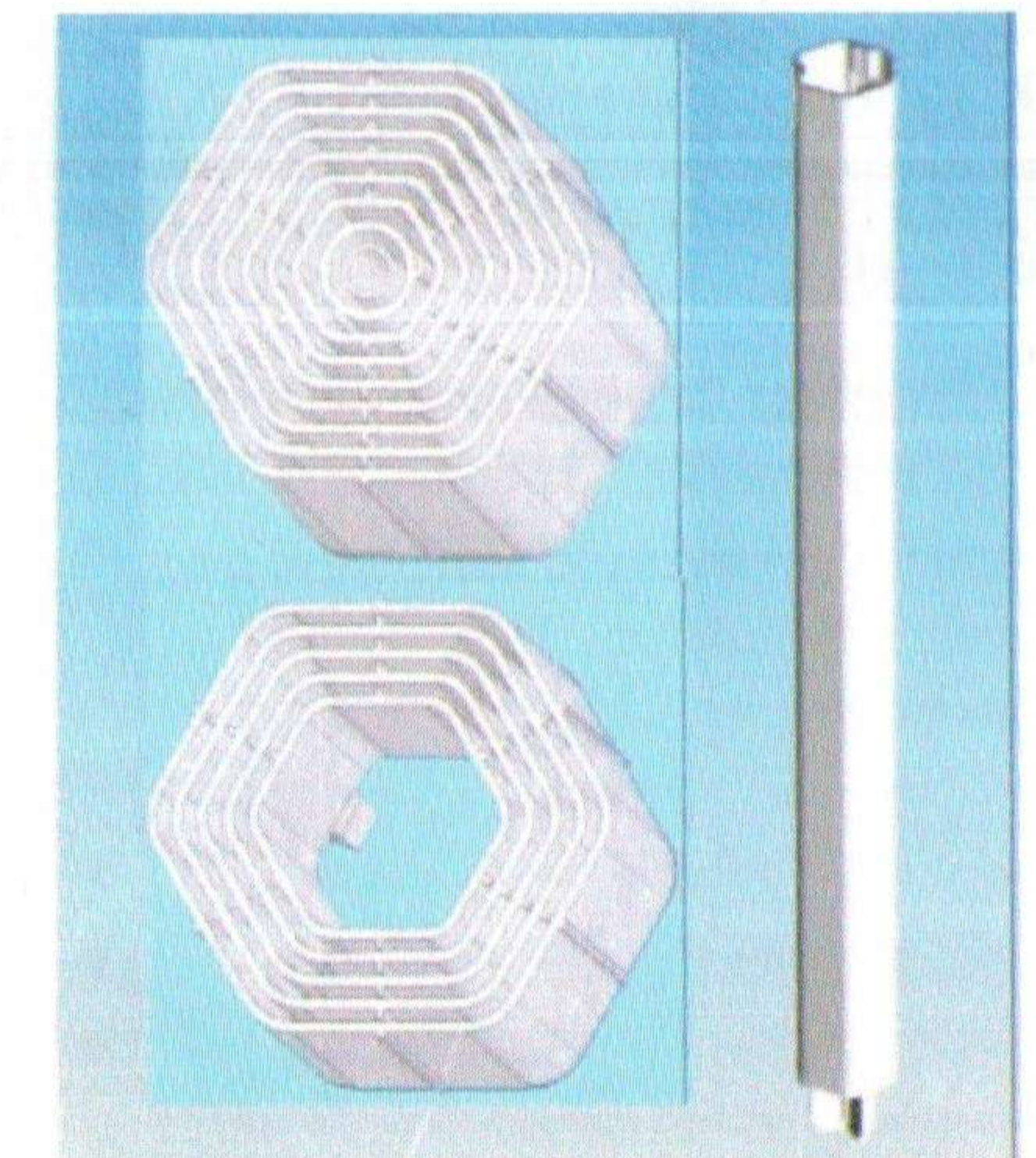


Рис. 8. ТВС ВВР-КН с обогащением по урану-235 19,7%



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Универсальная петлевая установка позволяет создать вакуум или газовую среды в исследуемом объекте. С применением УПУ и измерительно-информационной системы проведены и проводятся следующие внутриреакторные испытания:

- исследования термоэмиссионных электрогенерирующих сборок;
- длительные ресурсные испытания образцов литиевой керамики blankets термоядерного реактора;
- ресурсные испытания опытных тепловыделяющих сборок с низкообогащенным топливом.

Измерительно-информационная система представляет собой комплекс технических средств и программного обеспечения, предназначенного для информационного обеспечения онлайн информацией операторов и экспериментаторов при внутриреакторных испытаниях экспериментальных устройств.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Возобновление эксплуатации реактора ВВР-К : сб. ст. / Отв. ред. Ж.Р. Жотабаев, С.Н. Колточник – Алматы : А.О.ИАЭ НЯЦ РК, 1998. - 247с.
2. Бекмухамбетов Е.С. Экспериментальная база ИЯФ НЯЦ РК для исследования электрогенерирующих сборок термоэмиссионного реактора-преобразователя и результаты работ за период 1969-1991 гг. Монография, Алматы.
3. Тажибаева И.Л., Шестаков В.П., Кенжин Е.А., Чихрай Е.В., Кульсартов Т.В., Чакиров П.В., Гизатулин Ш.Х., Бекмухамбетов Е.С., Куйкабаева А., Kawamura H., Tsuchiya K. Использование реактора ВВР-К для длительных радиационных испытаний литиевой керамики  $Li_2TiO_3$  для blankets ТЯР. — ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2007, вып. 2, с. 3—10.

## УСТАНОВКА ХЛОРИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕННОГО БЕРИЛЛИЯ

*Баусадыков М.А., Котов В.М.  
Институт атомной энергии НЯЦ РК, г.Курчатов, ВКО*

### Введение

Бериллий относится к стратегически важным редкоземельным металлам, добыча которого сложна ввиду малого его содержания в рудах (до 70г/т) и низкого распространения в земной коре (3,8 г/т). Добавка бериллия значительно повышает твердость, прочность сплавов, коррозионную устойчивость поверхностей изделий. В атомных реакторах бериллий используют как отражатель, замедлитель нейтронов.

В настоящее время во всем мире облученный бериллий накапливается в виде радиоактивных отходов. По всему миру накоплены десятки тонн облученного бериллия, который не используется из-за ухудшения его механических свойств. Промышленная технология его переработки отсутствует, исследуются возможности создания рациональной технологии переработки. В бериллии присутствуют различные радионуклиды, основными из них после выдержки в несколько лет являются  $^{60}Co$ — гамма излучатель и  $^3H$ — бета излучатель.

Цель настоящего доклада состоит в описании некоторых проблем такой технологии и путей их решения.

### 1. Основы сухой технологии переработки

Основой разрабатываемой в ИАЭ НЯЦ технологии переработки облученного бериллия является – взаимодействие бериллия и радиоактивных продуктов с хлором с образованием хлоридов и последующее разделение хлоридов бериллия, кобальта и трития.

На рисунке 1 представлен вариант сухой технологии переработки облученного бериллия, предложенный специалистами JAEA [1]. В реакционной трубе разогретой до температуры 500°C установлен облученный бериллий. В реакционную трубу, очищенную от кислорода, подается хлор. Очистка камеры от кислорода достигается полосканием её объема аргоном. Во время реакции хлора с бериллием образуются хлорид бериллия, хлорид кобальта и хлорид трития.

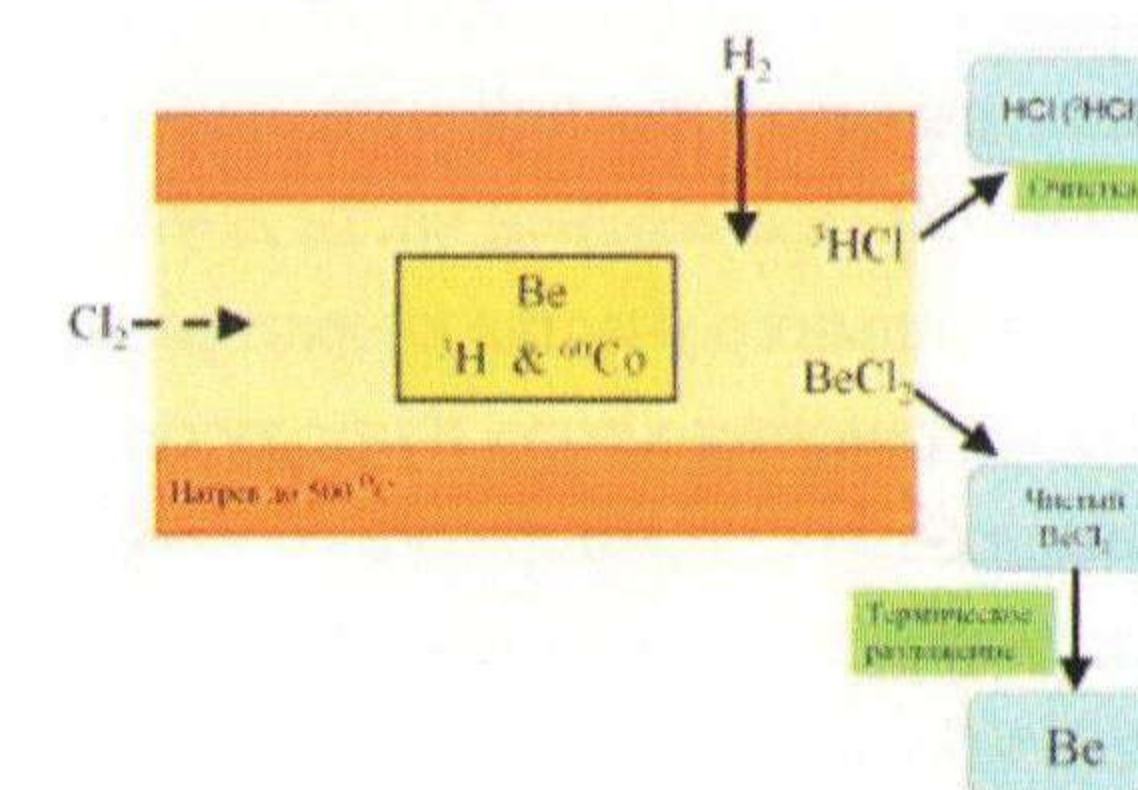


Рисунок 1. Схема сухой технологии переработки облученного бериллия.



После прохождения хлором зоны реакции с бериллием в поток продуктов реакции добавляется водород. Водород взаимодействует с остатками хлора и в продукте этой реакции (соляная кислота) накапливается хлорид трития.

Хлорид кобальта осаждается на стенках трубопровода, ограничивающего поток хлорида бериллия за счет того, что его температура плавления больше температуры этой стенки. Хлорид трития удаляется из потока хлорида бериллия вместе с соляной кислотой. В варианте [1] металлический бериллий получается термическим разложением хлорида бериллия.

## 2. Проблемы перевода бериллия в хлорид

В варианте по рисунку 1 сложно установить оптимальные условия подачи хлора в реакционную камеру с тем, чтобы на выходе была постоянная, малая, концентрация непрореагировавшего хлора.

Во-первых, в источниках литературы не обнаружены данные о скоростях взаимодействия хлора с металлическим бериллием.

Во-вторых, изменяется количество бериллия в ходе рабочего процесса.

В-третьих, изменяется структура поверхности бериллия в ходе процесса. Возможно увеличение доли окисной пленки на поверхности, которая уменьшает, вплоть до нулевой, скорость реакции.

Всё это делает процесс хлорирования в режиме прямого протока хлора опасным (выброс хлора в атмосферу). Опасность увеличивается из-за необходимости ввода водорода в конечный поток (возможность взрыва хлора с водородом при их больших концентрациях).

## 3. Основы циклического процесса

Решение проблемы достигается введением циклического процесса взаимодействия хлора с бериллием в замкнутом объеме.

Установка по переработке облученного бериллия в хлорид бериллия (рисунок 2) включает в себя следующие технологические узлы: хлоратор с облученным бериллием, емкости с аргоном, хлором, водородом и четыреххлористым углеродом, фильтр очистки от хлорида кобальта, накопительные емкости хлорида бериллия и соляной кислоты.

Хлоратор выполнен в виде замкнутого контура, состоящего из двух горизонтальных и двух вертикальных участков. Циркуляция хлора и продуктов реакции в полости хлоратора происходит вследствие конвекции, для чего в нижней части одного из вертикальных участков хлоратора устанавливается нагреватель, а в верхней части другого вертикального участка – холодильник. Нижняя часть горизонтального участка хлоратора заполняется бериллием.

Исследованы характеристики течения хлора и продуктов реакции в полости хлоратора при различных давлениях газа, температурах нагревателя и холодильника, условиях протекания реакции хлора с бериллием [2, 3]. Типичная скорость газов в хлораторе составляет 1-3 м/с. Рабочая температура в полости хлоратора около 1000 К, что исключает осаждение хлорида кобальта в хлораторе. Его осаждение проводится на прутковых никелевых элементах фильтра, температура которых поддержи-

вается на уровне 500°C.

Повышение степени взаимодействия хлора с бериллием достигается увеличением времени циркуляции газов в хлораторе (числа циклов обращения газов). Для определения момента выпуска смеси из хлоратора желательно знать содержание хлора в каждый момент работы хлоратора.

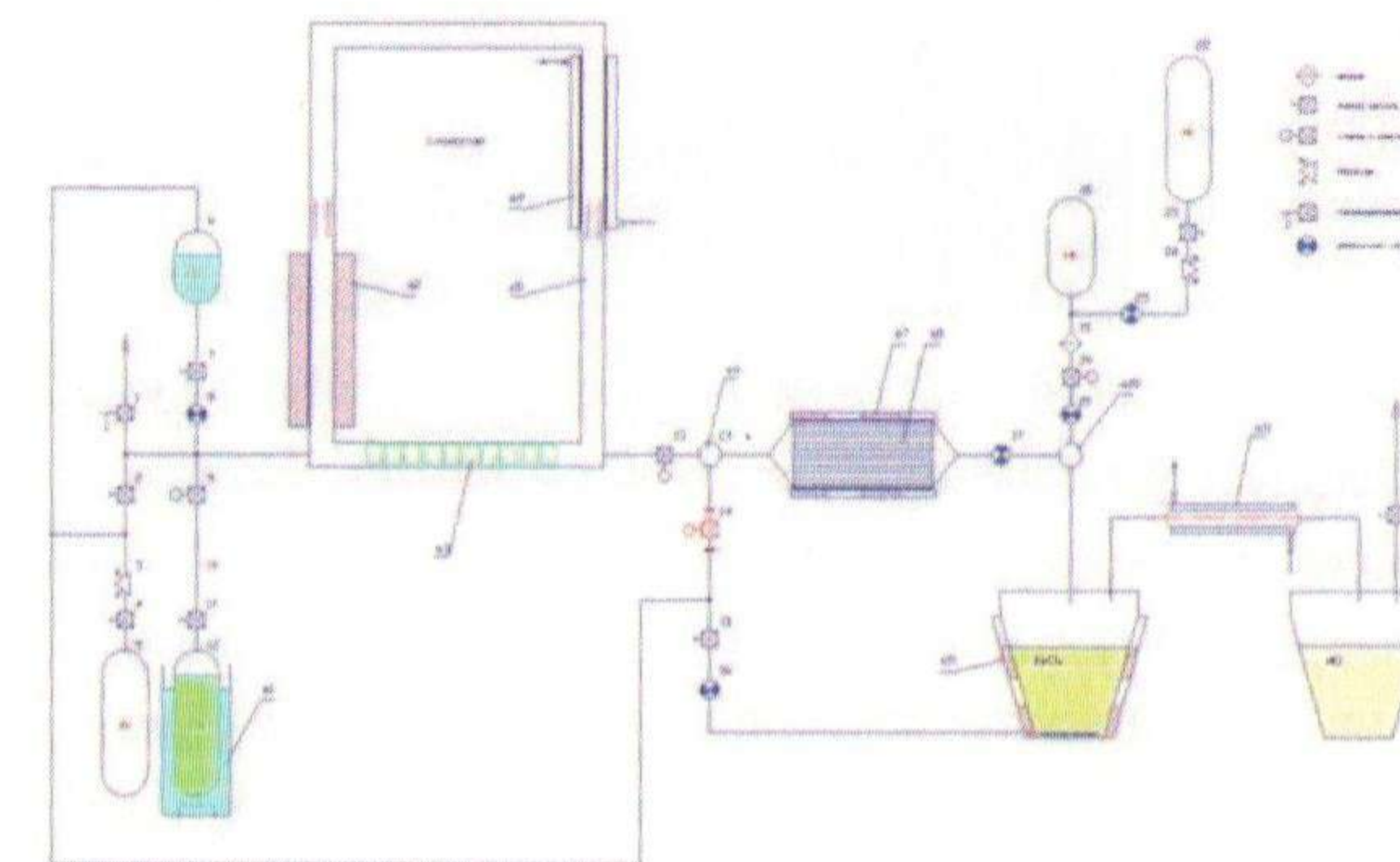


Рисунок 2. Схема установки хлорирования бериллия.

Проработана методика определения доли хлора в составе газов хлоратора, основанная на измерении интенсивности спектральной линии хлора в отраженном потоке излучения видимого диапазона света. Для повышения достоверности определения остатков хлора в составе газов хлоратора на конец цикла разработана методика, основанная на определении количества хлора с помощью пробоотборной ёмкости [4]. В ходе работ по данной методике используется модифицированная установка, представленная на рисунке 3.

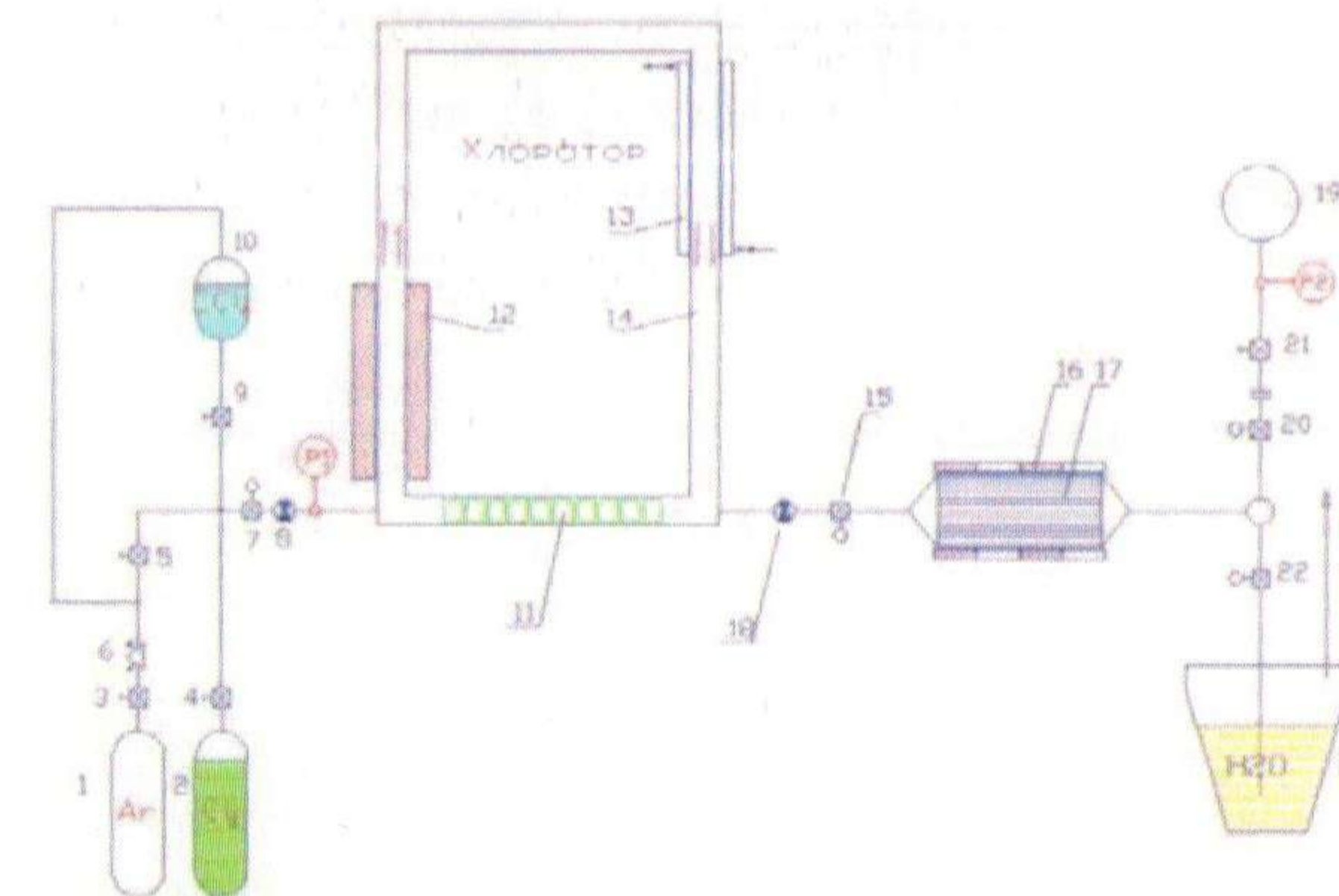


Рисунок 3. Схема установки для определения остатка хлора в конце цикла.

На рисунке 4 представлен вид нижней части двух вариантов хлоратора. Ближний к стене хлоратор выполнен из кварцевого стекла, второй – из стали 0X18H10T. Газовые тракты подключены к стальному хлоратору.





Рисунок 4. Варианты исполнения хлоратора из кварцевого стекла и стали 0X18H10T.

В ходе работ с кварцевым хлоратором не удалось добиться стабильности его работы в ходе периодических нагревов и охлаждений рабочей полости.

На рисунке 5 показаны элементы фильтра хлорида кобальта. Видны стержневые никелевые прутки, корпус фильтра (в левой части) и крышка с сетчатым фиксатором прутков (в правой части рисунка).



Рисунок 5. Элементы фильтра хлорида кобальта.

Проведены расчеты теплофизических характеристик работы хлоратора и фильтра, показавшие возможность реализации требуемых температурных полей в этих объектах. На рисунке 6 представлены распределения температуры газа по длине хлоратора при давлении 1 и 2 ата без учета реакции хлора с бериллием. На рисунке 7 приведены распределения температуры газа при мощностях взаимодействия хлора с бериллием равных 2, 4 и 10 кВт. Рост температуры газа в ходе реакции хлора с бериллием будет сопровождаться ростом давления, которое можно уверенно с достаточной точностью регистрировать. На основании этого измерения также можно контролировать содержание остатков хлора в полости хлоратора.

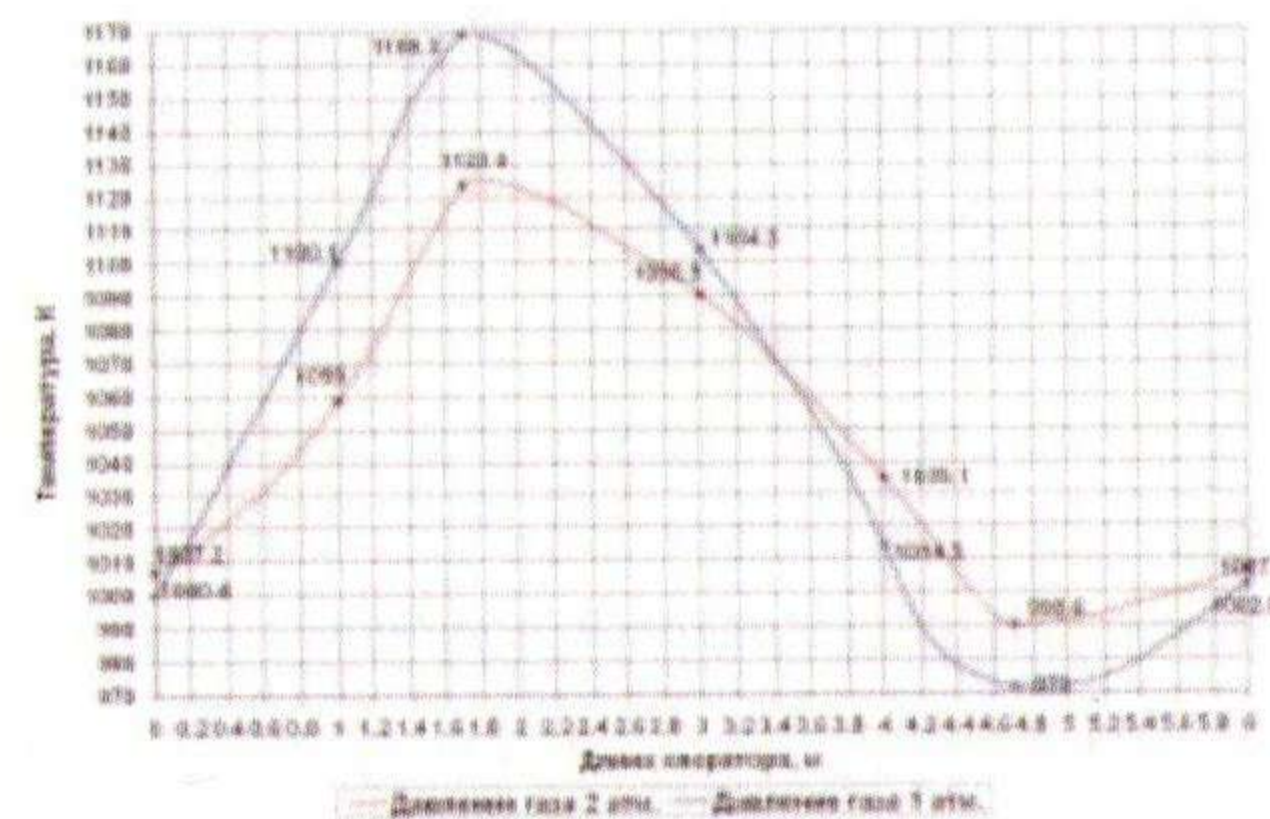


Рисунок 6. Распределение температуры газа по длине хлоратора без учета реакции хлора с бериллием.

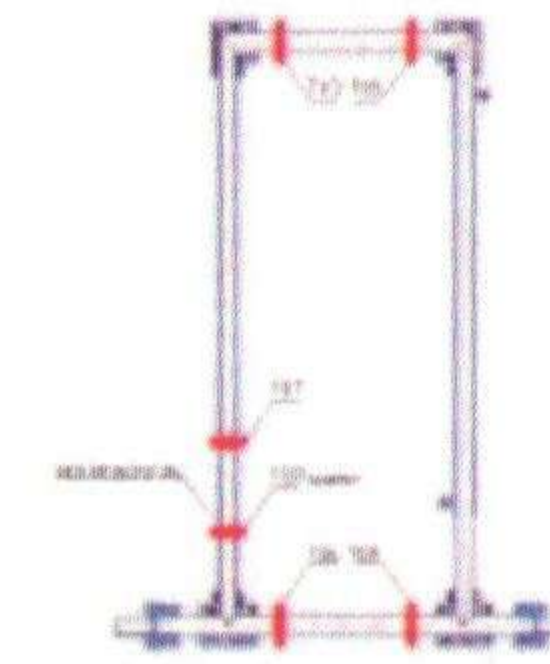


Рисунок 7. Распределения температур газа в хлораторе при различных мощностях (скоростях) химического взаимодействия хлора с бериллием.

Поиск геометрии теплоизоляции корпуса фильтра показал возможность достижения стабильного распределения температурного поля, при котором гарантированы условия осаждения хлорида кобальта на никелевых прутках.

#### 4. Экспериментальные работы на установке хлорирования бериллия.

Проведенные к настоящему времени работы на установке были нацелены на вывод элементов установки в рабочий температурный режим и проверку работоспособности всех его элементов. Хлоратор был оснащен термопарами, обеспечивающими контроль температурного поля в его полости в ходе разогрева и датчиком давления, позволяющим косвенно определить изменение средней температуры газа. Размещение термопар на корпусе хлоратора представлено на рисунке 8.

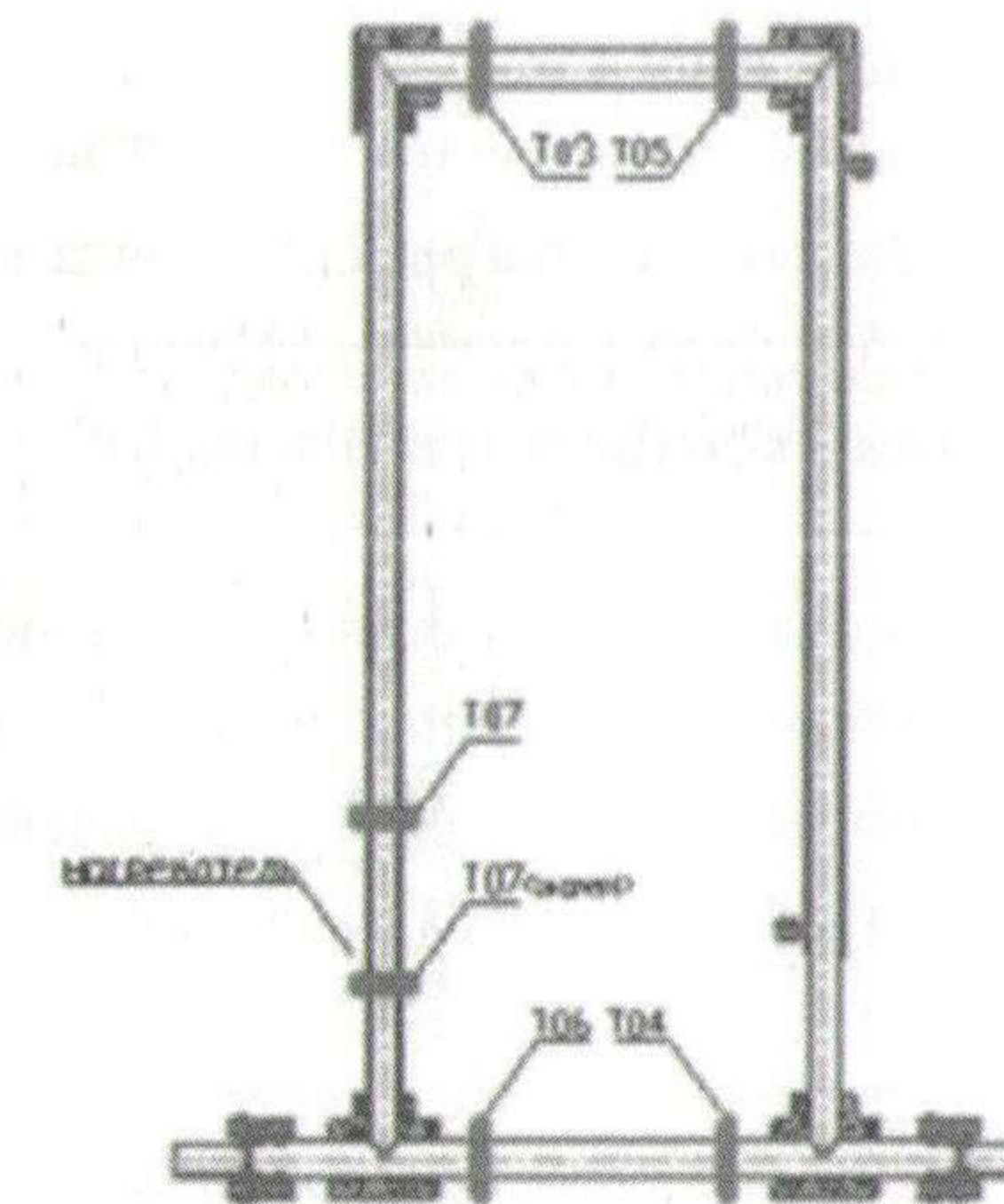


Рисунок 8. Размещение термопар на корпусе хлоратора.

Запись цифровых показаний температуры и давления в отдельный файл осуществлялась с помощью программы TRACE MODE.

Проведены эксперименты по разогреву хлоратора с воздушной и аргоновой средой. Изменение температур и давления в работе с воздушно средой представлены на рисунке 6.



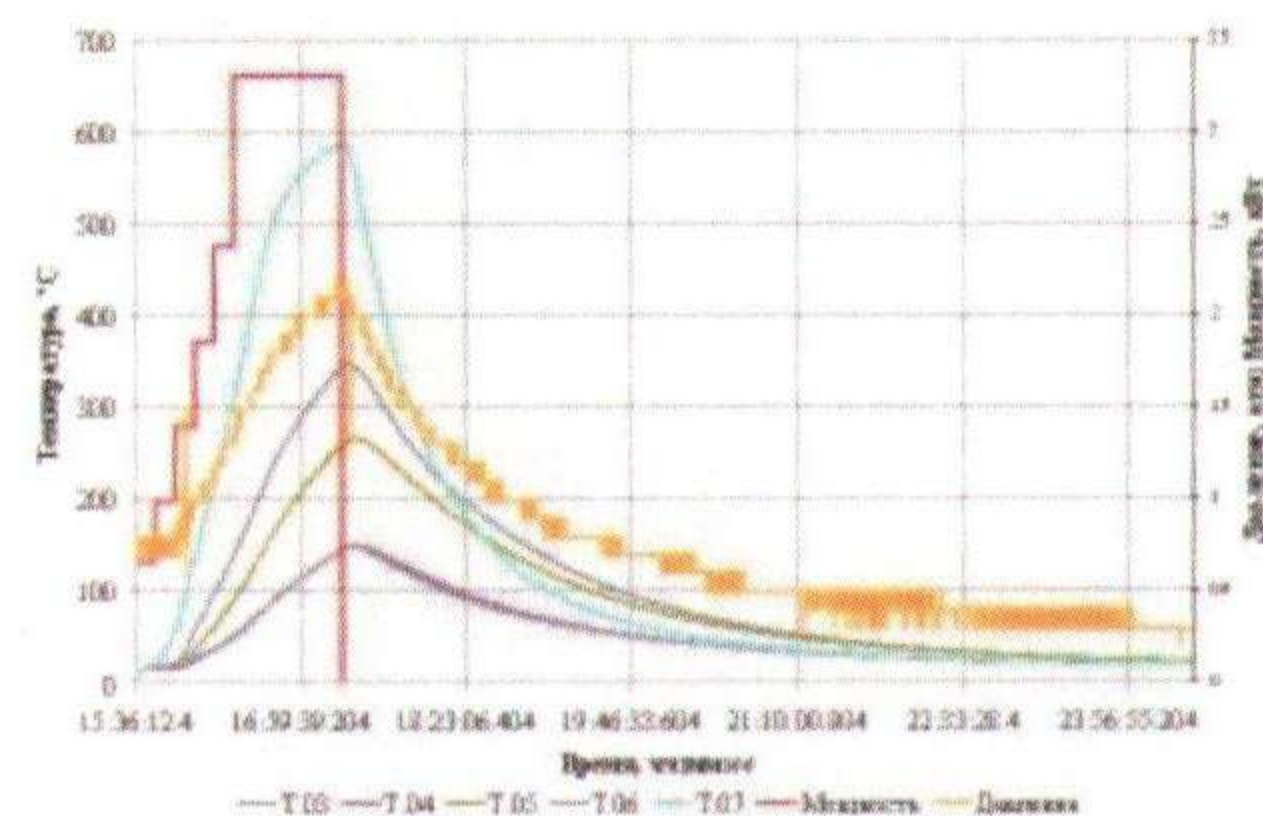


Рисунок 9. Разогрев хлоратора с воздушной средой

Мощность нагревателя в этом эксперименте изменялась ступенчато – 700 Вт, 1 кВт, 1,4 кВт, 1,9 кВт, 2,4 кВт, 3,3 кВт. Длительность интервалов постоянной мощности равна 10 минут. Мощность нагревателя 3,3 кВт поддерживалась в течение часа.

Значение температуры в точке T07, расположенной на примерно таком же удалении от нагревателя хлоратора, что и точка T06, значительно выше других показаний термопар, что обусловлено потоком горячего воздуха вследствие возникшей конвекции. В точке T07 достигнута температура около 600 °С, в то время как температура в точке T06 была в районе 150 °С. Нагрев верхней части хлоратора обусловлен конвективной составляющей теплообмена. На верхнем участке хлоратора в точках T03 и T05 перепад температуры существенен, – около 100°С. Резкое снижение температуры может быть объяснено снижением температуры газа при его прохождении по участку вследствие невысокой теплоемкости и скорости газа.

Температуры точек в нижней части хлоратора T06 и T04 практически совпадали в течение всего эксперимента. Дальняя от нагревателя точка нагревалась преимущественно за счет конвекции газа, ближняя – преимущественно за счет теплопередачи в нержавеющей стали, но скорости их нагрева совпадали. При расхолаживании температура в точке T07 изменяется резко, что связано передачей запасенного в стали тепла в холодный газ. Когда кончается запас тепла в стали, конвекция прекращается. Более теплый воздух оказывается в верхней части установки, более холодный – в нижней. Согласно этой логике, значения температуры в точке T07 оказываются между значениями температуры в нижних точках и в верхних точках хлоратора.

### Заключение

Определены некоторые проблемы реализации технологии хлорирования облученного бериллия. Описано техническое решение, обеспечивающее возможность контроля за содержанием непрореагировавшего хлора на выходе хлоратора. Показана схема установки хлорирования на основе циклического ведения хлорирования в замкнутом объеме.

Разработаны основы методики контроля содержания хлора в продуктах реакции в полости хлоратора и методика пробоотборного эксперимента для определения хлора при выпуске рабочих газов из хлоратора. Показана возможность контроля за ходом вза-

имодействия хлора с бериллием путем измерения давления в полости хлоратора.

Предлагаемая технология позволяет избежать осаждения хлорида кобальта в хлораторе и повысить степень его очистки в фильтре со стабильной температурой никелевых прутков.

Проведены эксперименты по выходу на рабочий температурный режим хлоратора. Анализ экспериментальных данных подтверждает работоспособность заложенных в технологию принципов.

### Список использованной литературы

1. K. Tatenuma, H. Kawamura, K. Tsuchiya / Beryllium Recycle Technology. 2007 г.
2. Котов В.М., Мухаметжарова Р.А. Расчет обоснования конструкции и режимов работы хлоратора. / Вестник НЯЦ РК, выпуск 4 2010, стр. 69-73.
3. Котов В.М., Мухаметжарова Р.А., Зорин Б.Л. и др. Исследование и совершенствование технологии очистки облученного бериллия. / «Инновационные технологии. Реальность и перспективы». Курчатова, 23.09. 2010 г. стр. 91-98.
4. Бакланова Ю.Ю., Сергеева А.С. и др. Методика измерения содержания хлора в полости хлоратора. ИАЭ НЯЦ РК, инв № 936 вн/11-220-04 от 19.07.2012



## УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ ГРАФИТА В ПАРАХ ВОДЫ

Муканова А.О., Чихрай Е.В., Шестаков В.П., Бекишев Ж.Ж.

Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики  
КазНУ им. аль-Фараби МОН РК, ул. Тимирязева, 71, г. Алматы, Казахстан  
e-mail: chikhray@mail.ru

В работе представлены результаты по созданию простой установки для проведения исследований по коррозии графитовых образцов в парах воды при температуре 400-800°C и давлении до 10кПа. Проведены испытания установки и получены результаты исследования скорости коррозии графита РГТ в парах воды для температур 600, 700, 800 и 850 °С.

### Введение

Графит — материал, который одним из первых был применен в ядерной технике и область применения которого продолжает расширяться до настоящего времени. Это объясняется весьма удачным сочетанием физических и химических свойств графита, дающих ему преимущества перед многими другими материалами. Так, сечение захвата тепловых нейтронов графита составляет около  $0,0036 \cdot 10^{-28} \text{ м}^2$ , он имеет относительно высокую прочность, возрастающую с увеличением температуры вплоть до 2500°C. Графит обладает устойчивой кристаллической решеткой, оставаясь в твердом состоянии даже при очень высоких температурах (более 3500°C), расплавить графит возможно только под давлением выше 10 МПа. Именно последние обстоятельства сделали графит привлекательным для применения в качестве конструкционного материала и материала замедлителя высокотемпературных реакторов с газовым охлаждением (ВТГР), а также защитного экрана первой стенки термоядерного реактора.

С другой стороны в последний год после аварии на Фукусиме, остро стал вопрос о проблеме коррозии графита. При попадании воды и воздуха в активную зону графит начинает активно корродировать, теряя свои свойства и разрушаться, что в свою очередь приводит к заклиниванию элементов активной зоны. К настоящему времени, существуют литературные данные по коррозии графита в атмосфере кислорода, но предположительно наиболее значимо на процесс коррозии графита влияет присутствие именно паров воды. Слабая исследованность в научном сообществе настоящего вопроса дополнительно подтверждает высокую актуальность представляемой работы.

### Экспериментальная установка

Инициативные исследования были проведены в рамках выполнения студенческой дипломной работы. В результате была разработана и создана простая установка по исследованию коррозии графитов (Рисунок 1). Установка состоит из нагреваемой капсулы 1 с находящимся в ней образцом 2, в которую из испарителя 3 подается горячий водяной пар. Испаритель 3 представляет собой еще одну нагреваемую капсулу (с температурой 500-600°C) с нагревателем 4, в которую из герметичной емкости 5 (типа медицинской капельницы) до-

зировано поступает дистиллированная и деионизированная вода и превращается там в пар. Пар под влиянием перепада давления в системе, создаваемого вакуумным насосом 6, по прогреваемому паропроводу 7 поступает в капсулу 1 и обдувает образец 2. Капсула с образцом нагревается внешним электрическим нагревателем 8 до требуемой температуры в диапазоне 600-900°C. Температура капсулы 1 и испарителя 3 контролируются термопарами 9 и 10. Дополнительно термопара 9 (капсула) подключена к мультиметру 13, который, в свою очередь, подсоединен к компьютеру 14, регистрирующему зависимость температуры от времени. Поток пара определяется скоростью расхода воды на входе в испаритель (зажим 11), и скоростью откачки насоса (клапан 12). Установка изготовлена из нержавеющей стали.

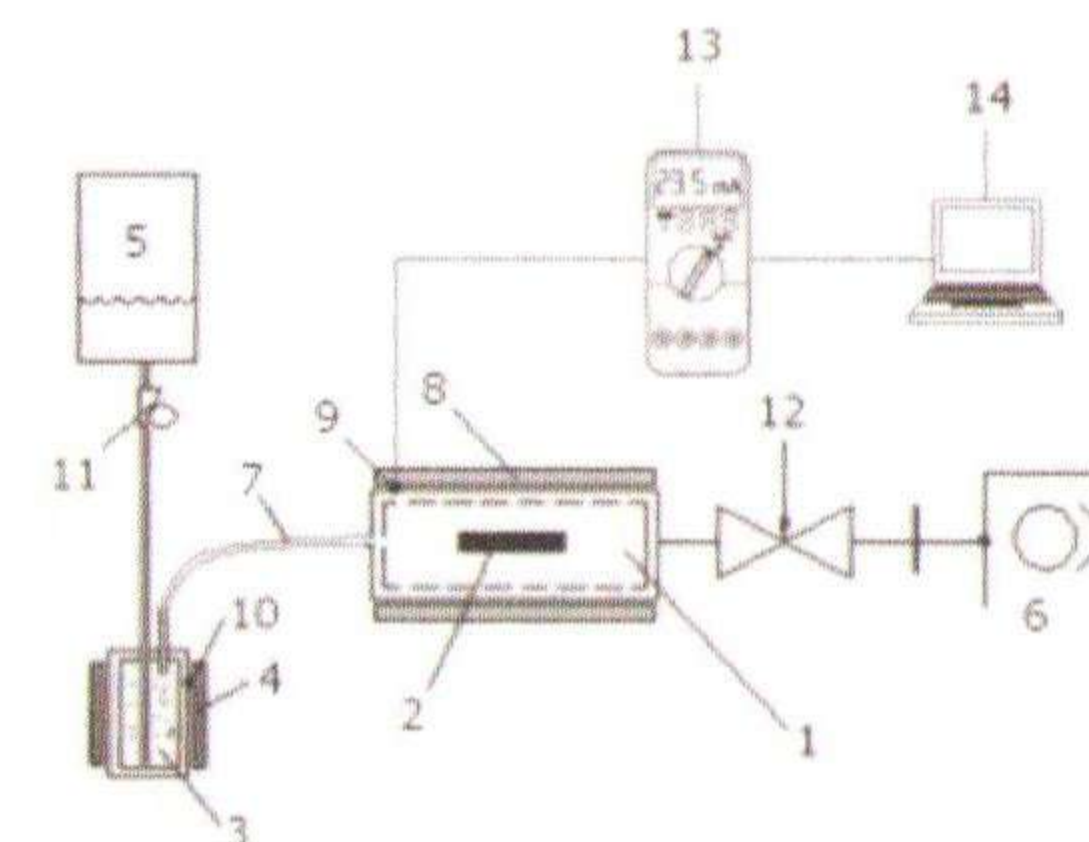


Рисунок 1 - Схема установки для исследования коррозии графита в парах воды

### Объект исследования

Технический графит РГТ ( $\rho = (2,2 - 2,26) \text{ г/см}^3$ ) содержит примерно 7,5% титана и получается в результате горячей прессовки по одному направлению смеси углерода и титанового порошка. Большинство зерен РГТ, имеющие форму диска, расположено параллельно базовой плоскости графитовой решетки. Средний размер зерна составляет величину порядка 10µм. Также одной из главных особенностей графита РГТ является его анизотропия.

Порядок подготовки образца к экспериментам:

1. Образец нарезался из сплошного массива графита образцами – параллелепипедами размером 3x3x50 мм. Вес такого образца составляет около 1 грамма. Такой размер образца наиболее оптимален для погружения в коррозионную капсулу и проведения прочностных испытаний.
2. В образце графита проделывались специальные отверстия, на которых, перед погружением образца в капсулу, закреплялась вольфрам-рениевая проволока в виде “усиков-ножек”, предназначенных для предотвращения прямого контакта образца с корпусом капсулы и для минимизации прямого теплообмена образец-капсула.
3. Образец погружался в ультразвуковую ванну для отмытки и полной очистки поверхности.
4. Исследуемый графит загружался в муфельную печь для отжига. Образец находился в печи в течении 20 – 30 минут, при температуре 1000°C.
5. Контрольное взвешивание образца проводилось при помощи аналитических ве-



сов CPA225D (Sartorius) (погрешность измерения  $\pm 0.00001$  грамма) и дополнительно проводилась фиксация исходного вида поверхности образца перед экспериментом с помощью оптического микроскопа DM-6000M.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Было изготовлено 4 образца графита РГТ. В связи с ограниченным количеством образцов стратегия проведения коррозионных экспериментов заключалась в одновременном наращивании температуры образца и потока паров воды через образец.

Перед началом коррозионных экспериментов были проведены испытания для определения диапазона изменения потока паров воды и температуры нагрева образца коррозионной капсулы (без образца). Для этого в течение нескольких установок проверялась сразу по обоим параметрам. В результате проведенных испытаний было установлено, что:

1. максимальная температура испарителя (и водяного пара) составляет  $800^{\circ}\text{C}$ ;
2. диапазон скорости подачи воды с испаритель установки составляет от 0,5 до 5 мл/минуту,
3. максимальная температура в коррозионной капсуле составляет:  $900^{\circ}\text{C}$  при минимальной подаче воды (1 мл/минуту) и  $850^{\circ}\text{C}$  при максимальном потоке (10 мл/минуту)

Первый образец исследовался при температуре  $600^{\circ}\text{C}$ . Температура пара, подаваемого от испарителя в коррозионную капсулу, также составляла  $600^{\circ}\text{C}$ . Скорость подачи воды в испаритель составляла 1 мл/минуту.

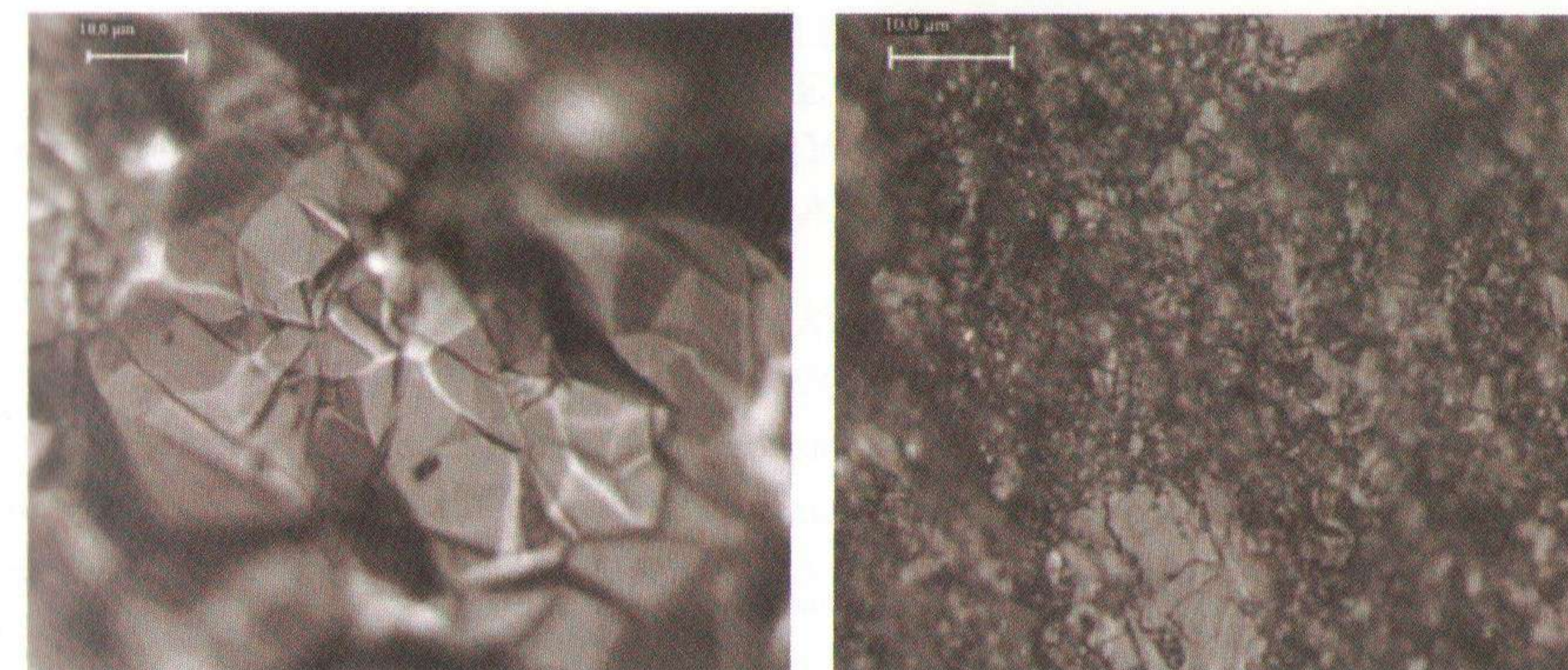
Эксперимент проводился в течение 21 часов (3 сеанса по 7 часов). После каждого 8-часового эксперимента сначала отключалась подача воды в испаритель (прекращалась подача пара на образец) и затем в течение часа температура образца снижалась до комнатной. На следующий день процесс продолжался в соответствии с процедурой, описанной выше. Общая убыль массы образца составила 4,04 мг, скорость коррозии составила  $0,037 \pm 0,010$  мг/ч/см<sup>2</sup>.

Второй образец исследовался при температуре  $700^{\circ}\text{C}$  в течение 11 часов при скорости подачи воды 1 мл/минуту. Общая убыль массы образца составила 3,69 мг, скорость коррозии составила  $0,056 \pm 0,012$  мг/ч/см<sup>2</sup>.

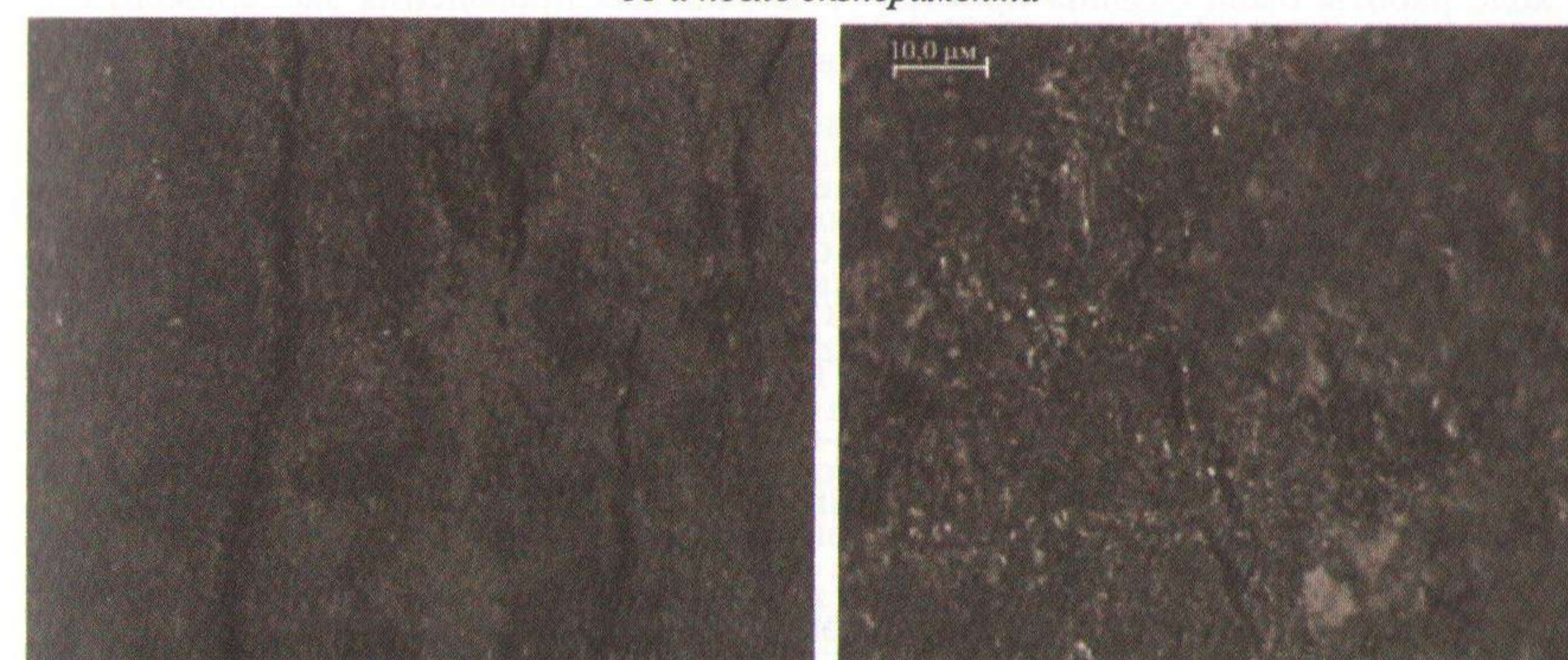
Снимки поверхностей образца № 1 до и после коррозии приведены на рисунке 2. Сравнительный анализ с исходной поверхностью показывает появление коррозионных областей и некоторое увеличение пористости.

Дальнейшее повышение температуры коррозии приводит к драматичным изменениям структуры и свойств графита РГТ. На рисунке 3 показан вид поверхности образца №3, №4 после эксперимента. Видно образование длинных трещин, наблюдавшихся по всей длине образца №3 (рисунок3,а), расслаивание образца по длинной стороне (вдоль базовой плоскости образца). Видно, что образец практически разрушен. В дальнейшем образец №3 так разрушился в руках при неосторожном обращении.

Данные по коррозии образца №4 показывают дальнейшее увеличение скорости коррозии (рисунок3,б). Но поскольку эксперимент продолжался значительно меньше времени чем с №3, то образец №4 не разрушился.



а) до эксперимента б) после эксперимента  
Рисунок 2 – Микроскопические снимки графита (образец №1) в разрешении 10 микрон до и после эксперимента



а) образец №3, T = 800°C разрешение 200,0 μм. б) образец №4, T = 850°C разрешение 10,0 μм.

Рисунок 3 – Микроскопические снимки коррозии образцов №3 и №4

Полный набор данных по всем четырем образцам приведен в таблице 1, а динамика изменения скорости коррозии приведена на рисунке .

Таблица 1 - Результаты коррозионных экспериментов образцов графита РГТ

Номер образца	Температура, °C	Время коррозии, часы	Поток воды, мл/мин	Убыль массы, мг	Скорость коррозии, мг/ч/см <sup>2</sup>
1	600	18	1	4,04	$0,037 \pm 0,010$
2	700	11	1	3,69	$0,056 \pm 0,012$
3	800	19	1	4,75	$0,042 \pm 0,015$
4	850	5	2	4,12	$0,137 \pm 0,013$



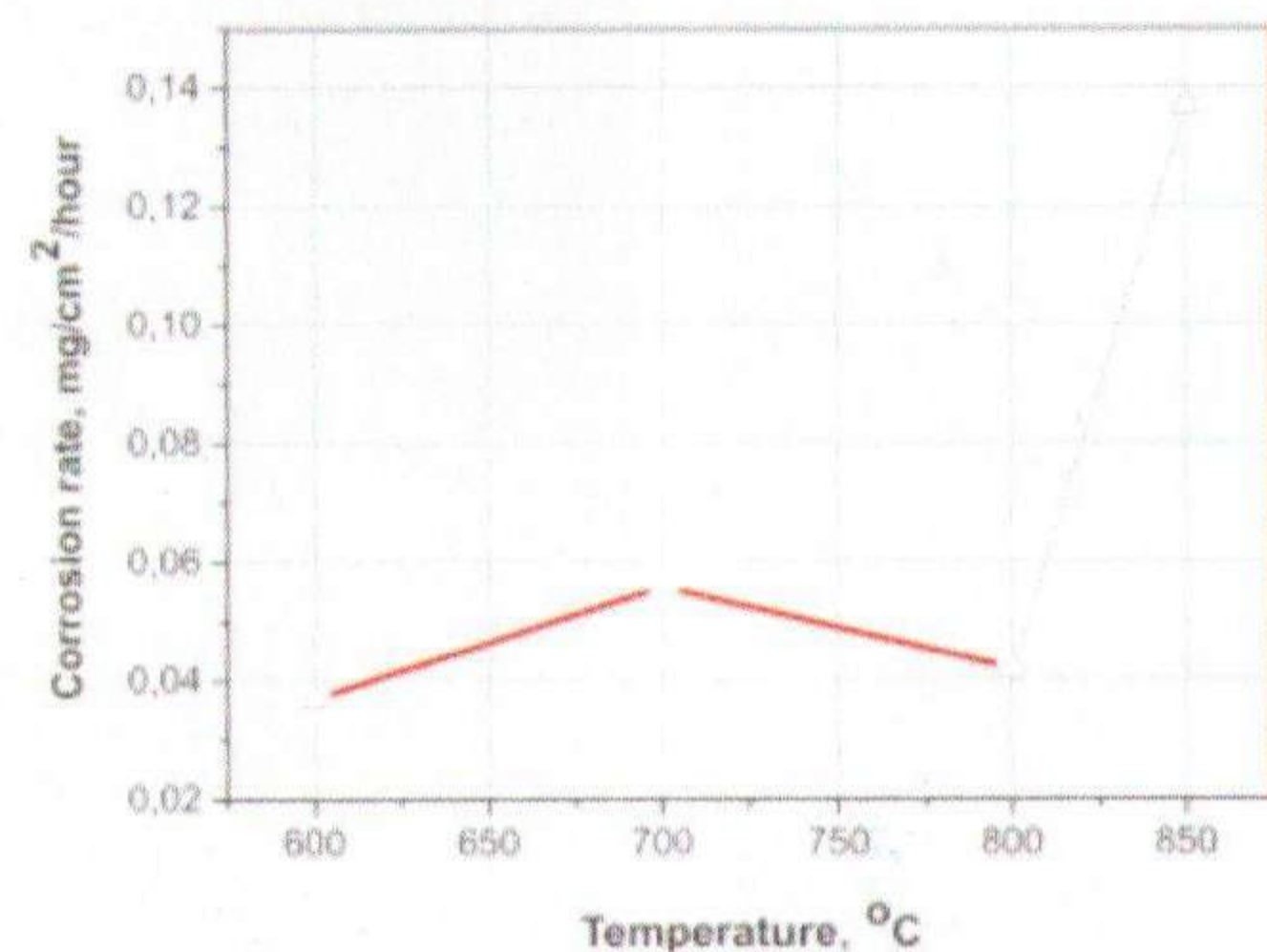


Рисунок 4 – График зависимости скорости коррозии от температуры

### Заключение

В ходе работы была создана простая установка для проведения эксперимента по коррозии небольших графитовых образцов в парах воды при температуре 400–850°C и давлении пара до 10 кПа. Установка позволяет получать заметную убыль массы исследуемых образцов при расходе воды в системе испаритель-коррозионная капсула от 1 до 10 мл/мин и достигать полного разрушения образца.

Получены данные по скорости коррозии графита РГТ и показано, что при расходе воды 1–2 мл/минуту разрушение графита РГТ при температуре 800°C происходит через 20 часов, а при температуре 850°C – через 5–6 часов.

Сравнение полученных данных с данными по аналогичной коррозии в кислороде, показывает, что коррозия в парах воды (при сравнимых скоростях) имеет более разрушительное воздействие на графит, что возможно связано с влиянием водорода.

Предположительно воздействие паров воды на графит более разрушительно при охлаждении графита.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.С. Виргильев, А.Н. Селезнев, А.А. Свиридов, И.П. Калягина. Реакторный графит: разработка производство и свойства // Российский химический журнал. 2006, т. 1, №1, с. 4–12
2. Уплотнения из терморасширенного графита: условия безопасного применения в среде жидкого и газообразного кислорода / М.Ю.Белова, О.Ю.Исаев, А.С.Розовский, В.М.Смирнов // Арматуростроение. 2006. № 2 (41). С. 70–75.
3. Bundy F.P. Direct conversion of graphite to diamond is static pressure apparatus // J. Chem. Phys. – 1963. – V. 38 - № 3 – P. 618 – 631.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИЛОВОЙ РЕЖУЩЕЙ МЕЛЬНИЦЫ «PULVERISETTE 25» ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ «ШАШЕК» В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТАБЛЕТОК ПО СУХОЙ СХЕМЕ В АО «УМЗ»

Русин Ю.Г., Шевченко Г.М., Кузьмин К.А., Болтанов А.В.  
АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

В настоящее время на Урановом производстве АО «УМЗ» для получения пресс-порошков, обладающих необходимыми технологическими свойствами (текучестью, прессуемостью и формуемостью) с использованием сухих добавок, проводится механическая обработка и грануляция порошка.

Механическая обработка и грануляция порошка включает в себя следующие последовательно выполняемые операции:

- уплотнение;
- измельчение;
- грануляция.

Уплотнение порошков проводится с целью разрушения первичных агломератов порошков для увеличения их насыпной плотности. Измельчение порошков проводится с целью улучшения микроструктуры топливных таблеток. Гранулирование проводится для получения необходимой текучести пресспорошков.

Существенным недостатком этой схемы является то, что после вибрационного гранулирования пресспорошок не приобретает необходимую текучесть, что затрудняет засыпку полученного пресспорошка в матрицу. Полученный по предложенной схеме пресспорошок имеет кроме того низкую насыпную плотность, что не позволяет обеспечить формование прессовок в более высокую плотность без видимых перепрессовочных дефектов.

С целью улучшения технико – экономических показателей таблеточного производства принято решение внедрить «шашечную» технологию изготовления топливных таблеток. Основным отличием такой технологии является операция предварительного формования прессовок со сравнительно низкой плотностью («шашек») с последующим разрушением этих прессовок до гранул заданного размера. Полученный гранулят позволит получать пресспорошки с высокой текучестью. Внедрение «шашечной» технологии должно повысить выход в готовую продукцию.

Перед специалистами Уранового производства возникла проблема выбора оборудования для измельчения «шашки», т.к. специализированного оборудования для разрушения и измельчения «шашек» промышленность не выпускает. Такое измельчительное оборудование, используемое при производстве топливных таблеток, является эксклюзивным, при этом топливные компании, как правило, в рамках которых это оборудование разрабатывается, не заинтересованы в его тиражировании. Целенаправленный поиск оборудования, которое можно было бы использовать в качестве разрушителя и измельчителя «шашек» позволил выбрать как наиболее приемлемое – силовую режущую мельницу «Pulverisette



25», используемую при разрушении и измельчении различных материалов. Силовая режущая мельница «Pulverisette 25» пригодна для измельчения сухих материалов от мягких до среднетвёрдых и волокнистых материалов с крупностью 120x85 мм.

Принцип действия представлен на рисунке 1. Материал загружается в приемную воронку, откуда поступает в камеру измельчения. Здесь материал измельчается между вращающимися (1) и неподвижно закрепленными ножами (2). Мелкая фракция проходит через сито (3) в бункер - накопитель измельченного материала.

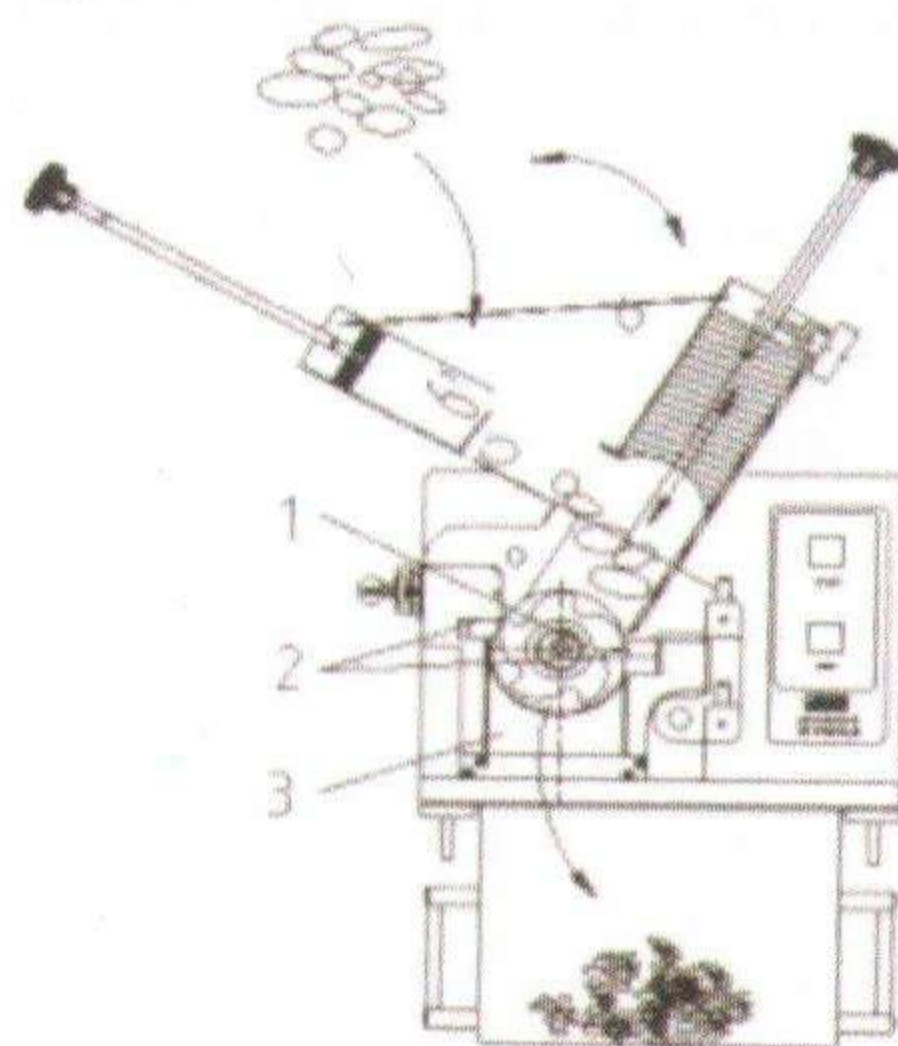


Рисунок 1 – Силовая режущая мельница «Pulverisette 25»

В камере измельчения силового режущей мельницы «Pulverisette 25» ротор с закреплёнными на нём ножами в сочетании с тремя неподвижными ножами разрезает измельчаемую пробу при небольшой скорости вращения. Обрабатываемый материал остаётся в рабочей камере до тех пор, пока не достигнута желаемая конечная тонкость, и затем выгружается через отверстия заменяемого вставного сита в приёмный сосуд. Благодаря оптимизированному компьютером идеальному расположению трёх неподвижных ножей с разными углами резания при одном обороте ротора происходит оптимальное предварительное измельчение крупного материала. Одновременно достигается для дробилок предварительного измельчения отличная эффективность измельчения тонкого материала.

После приобретения данной мельницы и ее установки на производственном участке были проведены исследования, направленные на решение проблемы обеспечения текучести пресспорошка при изготовлении топливных таблеток и получение ответа на вопрос о возможности использования данного оборудования для достижения поставленной цели.

Для проведения исследований была взята смесь порошка  $UO_2$  с 7 % масс.  $U_3O_8$  партии и проведено смешение исходного порошка диоксида урана в течение 15 минут с расчетным количеством порошков сухой связки и порообразователя. Затем на прессе изготовили «шашки» с плотностью 4,33 - 4,38 г/см<sup>3</sup>.

Изготовленные «шашки» измельчили в силового режущей мельнице до получения гранулята. Измельчение проводили при трех положениях зазора между подвижным и неподвижными ножами: 0,65 мм; 0,5 мм и 0,3 мм, используя одно решето с размером ячейки 1 мм. Полученный гранулят направляли на операцию окончательного смешения - усреднения. Результаты определения гранулометрического состава исходного по-

рошка диоксида урана, полученного гранулята и пресспорошка после окончательного смешения представлены на рисунке 2.

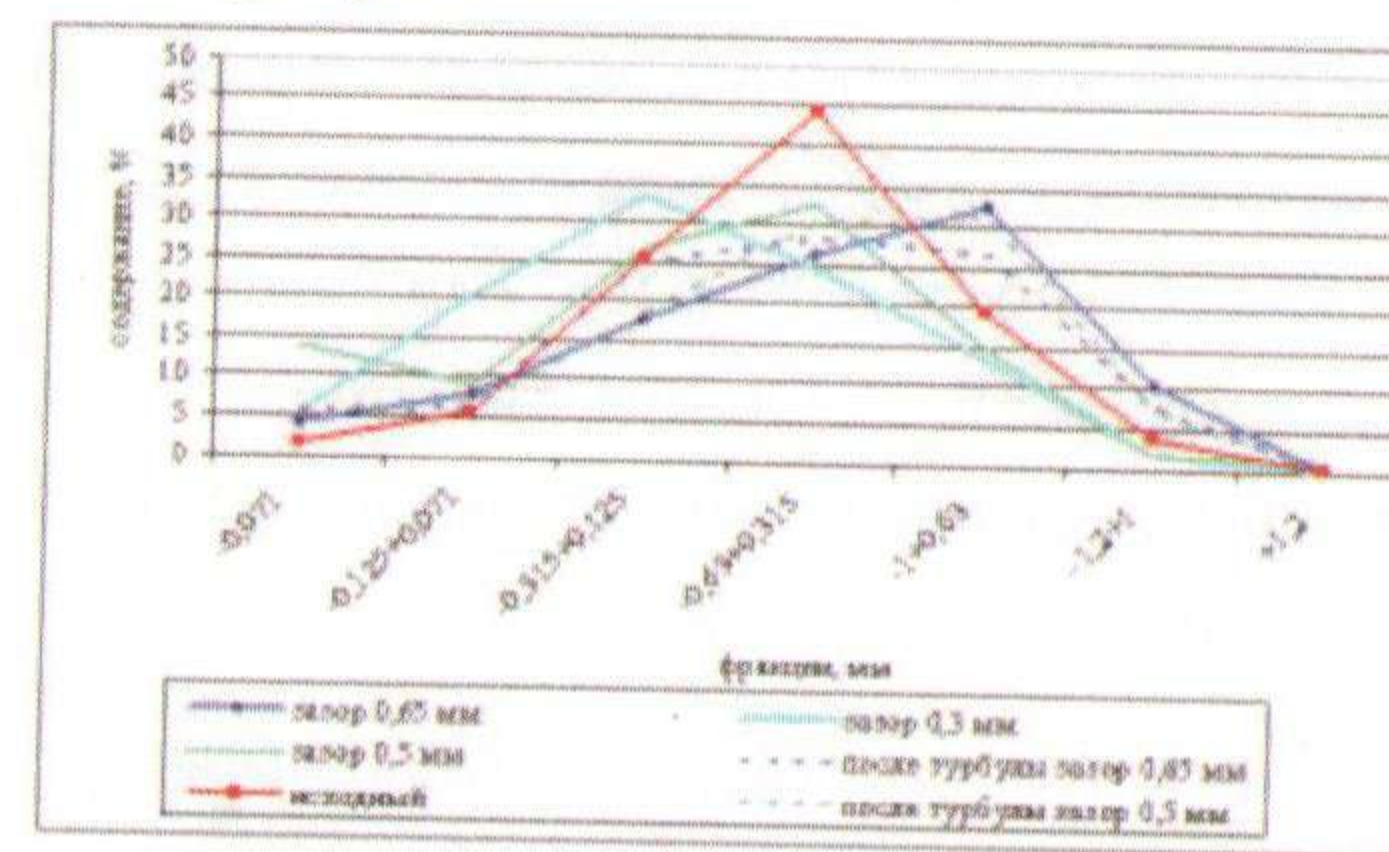


Рисунок 2 - Гранулометрический состав порошков

Анализ гранулометрических составов, приведенных на рисунке 2, показал, что гранулят, полученный при зазоре между ножами 0,65 мм, имеет более крупный фракционный состав по сравнению с гранулятом, полученным при зазоре между режущими ножами 0,5 и 0,3 мм. В данном грануляте присутствует до 10 % крупной фракции «+ 1,0 мм», он обладает хорошей текучестью (3,5 сек) и насыпной плотностью 2,9 г/см<sup>3</sup>.

Гранулят, полученный при зазоре между ножами 0,3 мм, текучестью не обладал и имел насыпную плотность 2,65 г/см<sup>3</sup>. По гранулометрическому составу полученный гранулят очень схож с пресспорошками, изготовленными по технологии для таблеток AFA 3G. Следует отметить, что при разрушении «шашек» при зазоре 0,3 мм порошок постоянно залипал на решете и не просеивался, поэтому проводить измельчение при зазоре 0,3 мм между ножами мельницы нецелесообразно.

Гранулят, полученный при зазоре между ножами 0,5 мм хорошей текучестью не обладал (течет с постукиванием 5 сек), имел насыпную плотность 2,7 г/см<sup>3</sup>. По гранулометрическому составу гранулят имел меньше крупной фракции «+1 мм» (1,77 %) по сравнению с гранулятом, полученным при зазоре между ножами 0,65 мм, однако при проведении данного режима возникли те же проблемы, что и при дроблении «шашек» при зазором между ножами 0,3 мм, поэтому проводить дробление при зазоре между ножами 0,5 мм также не технологично.

Таким образом, из всех опробованных зазоров между неподвижным и подвижными ножами наиболее приемлемым и технологичным для дробления «шашек» можно считать установленный зазор в 0,65 мм.

После определения оптимального зазора между ножами была проверена возможность формования таблеток из пресспорошка, полученного по «сухой» схеме.

На операцию формования для получения прессовок был взят пресспорошок, изготовленный после смешения гранулята, полученного при зазоре между ножами 0,65 мм, с сухой связкой стеаратом цинка. Из пресспорошка были отформованы прессовки в три диапазона плотности: 5,5; 5,75 и 6,0 г/см<sup>3</sup>. После формования прессовки были спечены при штатных режимах. Для сравнения микроструктуры таблеток и эффективности обработки порошка с использованием «шашки» были также отформованы прессовки из исходного порошка.



Анализ микроструктуры полученных таблеток показал, что пористая и зеренная структура таблеток всех вариантов заметно не отличается друг от друга. На поле шлифа находятся поры средней величины, много мелких пор, на таблетках, полученных из исходного порошка, отмечено наличие кольцевых пор. Зерно равномерное, средний размер зерна составляет от 8 до 11 мкм.

Фрагменты пористой и зеренной структуры спеченных таблеток, полученных из исходного порошка и обработанных через «шашку» порошков, отформованных в плотность 5,5; 5,75 и 6,0 г/см<sup>3</sup>, представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Характерные фрагменты пористой и зеренной структуры таблеток (увеличение  $\times 200$ )

На основании полученных данных можно сделать вывод, что проведенные исследования показали принципиальную возможность использования силовой режущей мельницы «Pulverisette 25» для измельчения «шашек» при изготовлении таблеток по «сухой» схеме.

В ходе исследований был выбран оптимальный зазор между неподвижными и подвижными ножами режущей мельницы при использовании исходного, не измельченного порошка, позволяющий вести непрерывно процесс разрушения «шашек» до приемлемой крупности гранулята и была определена оптимальная плотность «шашек», которую возможно получить, используя существующее оборудование.

В то же время необходимо отметить, что данные параметры (величина зазора между ножами мельницы и плотность «шашек») были определены для исходного (не измельченного) порошка, которые могут существенным образом отличаться от полученных в случае использования предварительно измельченного порошка, например, в молотковой дробилке. В связи с этим для окончательного ответа и подбора параметров подготовки пресспорошка с использованием для разрушения «шашек» силовую режущую мельницу «Pulverisette 25», а также режимов и последовательности смешения порошка и пресспорошка с сухим связующим и порообразователем, необходимо проведение следующих этапов исследований, которые будут включать все выше перечисленные аспекты, учитывающие также влияние степени измельчения исходного порошка на параметры и режимы получения гранулята, имеющего приемлемую текучесть и обеспечивающего качественную микроструктуру топливных таблеток.



## ПУТИ РАСШИРЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРИРОДНОГО УРАНА ТАУКЕНТСКОГО ГХК ДЛЯ ОТРАБОТКИ ЕГО МЕТОДОМ ПСВ

Есжанова Д.А., Полонский В.А.

АО «Волковгеология» Центральная опытно методическая экспедиция,  
г. Алматы

**Основные направления стабильности и совершенствования сырьевой базы урана в Казахстане.** В настоящее время Казахстан обладает одной из крупнейших в мире урановорудной базой, которая позволяет ему не только полностью обеспечить внутренние потребности при развитии собственной атомной энергетики, но и выводит Республику в ряд наиболее крупных поставщиков урана на мировой рынок.

Несмотря на то, что фонд залегающих в благоприятных обстановках и легко открываемых урановых месторождений существенно сократился, а в некоторых провинциях вообще иссяк, перспективы восполнения и наращивания балансовых запасов в Казахстане реальны, и становятся главной задачей геологической службы и добывающих предприятий.

В соответствии с общими тенденциями развития экономики резко возросли требования к рентабельности отработки месторождений. Поэтому поисково-разведочные работы, направленные на восполнение запасов урана, должны проводиться с обязательным учетом следующих положений:

1. Урановые объекты должны располагаться в освоенных или осваиваемых промышленных районах, что с минимальными затратами позволяет восполнить сырьевую базу действующих предприятий.

2. Выявленные месторождения должны быть пригодны для отработки высокоэффективными методами, в частности, подземным выщелачиванием.

3. Выявлению, количественной и качественной оценки должны подлежать все присутствующие в рудах полезные компоненты, которые, помимо самостоятельной практической ценности, способствуют повышению рентабельности извлечения основного компонента – урана.

4. В настоящее время особую значимость приобрели требования к сохранению и защите окружающей среды, существенно ограничивающие, в ряде случаев, возможность отработки месторождений, даже экономически рентабельных.

Безоговорочное промышленное значение в настоящее время, да и в ближайшем будущем, имеют пластово-инфильтрационные урановые, селено-урановые, рений-урановые, ванадий-урановые месторождения, залегающие в водоносных песчаных горизонтах мела, палеогена и пригодные для отработки способом ПС. Поэтому работы по прогнозированию, выявлению новых объектов этого типа, по изучению и подготовке к эксплуатации уже известных представляют приоритетное направление на ближайшие десятилетия. Оценивая реальные перспективы выявления новых месторождений этого типа в Казахстане, и учитывая изученность мезозойско-кайнозойских структур, можно

уверенно утверждать – по своей рудонасыщенности и сложившейся инфраструктуре горнодобывающей промышленности главными поставщиками природного урана надолго остаются Шу-Сарысуская и Сырдарьинская провинции на юге Казахстана, входящие в Восточно-Туранскую мегапровинцию (рис.1).

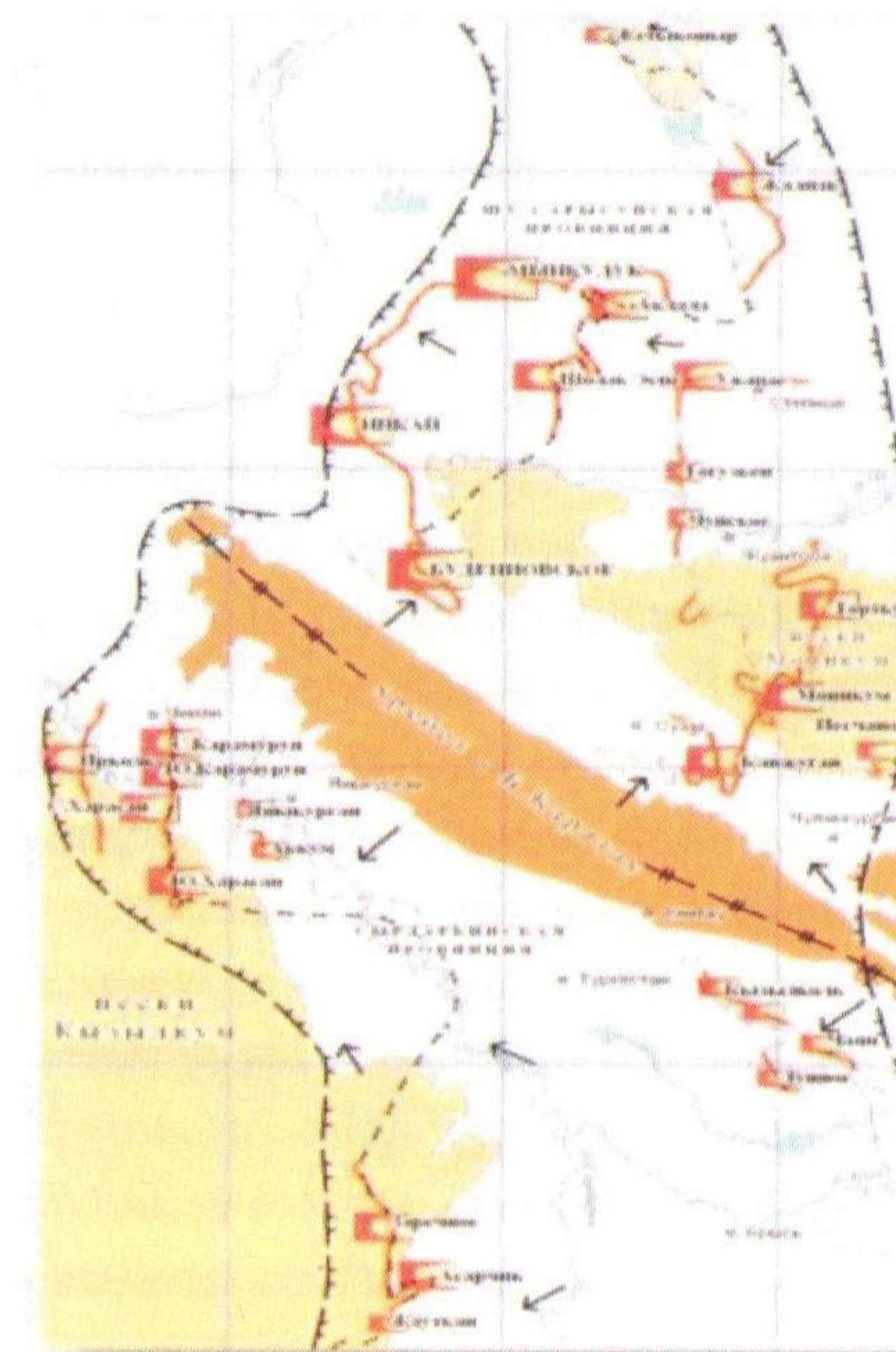


Рис. 1. Схема ураноносности Восточно-Туранской мегапровинции

Первый шаг по совершенствованию сырьевой базы урановых провинций вполне очевиден и лежит, что называется на поверхности. Это повышение качества сырьевых ресурсов, изменение соотношения общих ресурсов и балансовых запасов урана. В настоящее время лишь 51,5 % из общих оцененных ресурсов являются балансовыми, разведанными до промышленных категорий В+С1+С2. Это означает, что большинство крупных и уникальных объектов слабо подготовлены для ввода их в эксплуатацию. Это относится, в первую очередь, к месторождениям Инкай, Буденновское, Моинкум, Ирколь, Харасан, Жалпак, Заречное, Асарчик. Перевод прогнозных ресурсов категории Р1 и Р2 в промышленные запасы категорий С1 и С2 требует возобновления поисково-оценочных и детальных работ на этих месторождениях. Эти работы потребуют вложения значительных инвестиций в геологоразведку, особенно от организаций, уже начавших промышленное освоение месторождений, но они являются и беспроигрышными. Прогнозные ресурсы реальны, изменение соотношения запасов в сторону высоких категорий позволит планировать добычные работы на многие десятилетия вперед.



В настоящее время все наиболее крупные и уникальные урановые месторождения Шу-Сарысуской урановорудной провинции, разведанные в 70-80-е годы прошлого столетия, в той или иной мере вовлечены в эксплуатацию. Отработка месторождений ведется в двух направлениях. Во-первых, собственно казахстанскими горнорудными предприятиями (Степное РУ, Таукентский ГХК и РУ-6) и, во-вторых, совместными предприятиями (СП) с привлечением иностранного капитала. Эксплуатация месторождений осуществляется самым прогрессивным на сегодняшний день методом подземного скважинного выщелачивания – ПСВ. Первый в Южном Казахстане уранодобывающий рудник был открыт в 1977 году на месторождении Уванас, затем в 1982 году добыча началась на Восточном фланге месторождения Мынкудук и на Канжугане.

За 30-35 лет бесперебойной работы рудников, разведанные запасы на некоторых объектах почти истощились. Так на месторождении Уванас (Степное РУ) запасов промышленных категорий С1 и С2 осталось на 2-3 года. Острый недостаток разведанных запасов испытывает Таукентский ГХК на месторождениях Канжуган и Южный Моинкум. На этих объектах наращивание и возобновление сырьевой базы урана становится в настоящее время самой актуальной и безотлагательной задачей, без решения которой добычные работы станут экономически невыгодными.

Ниже мы постараемся рассказать, как эта проблема решается сейчас на участке 3 уранового месторождения Моинкум, входящего в сферу деятельности Таукентского горно-химического комбината.

**Общие сведения о районе Моинкумского рудного поля.** Урановое месторождение Моинкум, как один из значительных объектов пластово-инфильтрационного типа в пределах южной части Шу-Сарысуской урановорудной провинции, является северным продолжением месторождения Канжуган. Оно выявлено в 1972 году экспедицией № 5 ВПГО при проведении поискового бурения в масштабе 1:200000 в песчаных горизонтах палеогена (верхнего палеоцена – среднего эоцена). Первоначально месторождение Моинкум числилось, как опущенный блок Канжугана, и ресурсы по нему оценивались на уровне прогнозных. Однако, в дальнейшем, когда опущенный блок определился как крупный по масштабам объект, и учитывая отличное от Канжугана положение в структуре региона, эта площадь в 1979 году была выделена как самостоятельное месторождение.

Урановое оруденение на месторождении Моинкум является типично пластово-инфильтрационным и во всех продуктивных горизонтах контролируется границами зоны пластовой лимонитизации. Промышленное оруденение связано здесь с тремя рудными горизонтами: иканским, уюкским и канжуганским. Слабая опоскованность первого и третьего не позволяет на данной стадии изученности с высокой степенью достоверности оценить их рудоносность на всем протяжении границ выклинивания ЗПО. В наиболее изученном уюкском горизонте урановое оруденение прослежено почти без перерывов вдоль всей опоскованной части геохимической границы на 125 км (включая Северный Моинкум). Из девяти залежей в иканском горизонте лишь в двух (2и и 3и) запасы посчитаны по категории С<sub>2</sub>, в остальных изученность позволяет оценить лишь

прогнозные ресурсы по категории Р1. В канжуганском горизонте урановое оруденение установлено практически на всех участках, где проводились поисковые и поисково-оценочные работы, но нигде не разведано до промышленных категорий.

Спорадические рудные пересечения в базальной части интымакского горизонта (средний - верхний эоцен), являющегося в регионе мощным верхним водоупором, представляют пока лишь поисковый интерес.

Разведанные урановорудные залежи месторождения Моинкум имеют в плане, в основном, лентообразную форму, что объясняется морфологией региональной рудо-контролирующей границы ЗПО субмеридионального простирания. Протяженность рудных лент составляет от 3-4 км (залежь 3и) до 15-26 км (1бу). Ширина варьирует от десятков до первых сотен метров. Раздувы залежей приурочиваются обычно к участкам осложнения геохимической границы в плане, что обусловлено появлением в разрезе продуктивных отложений слабопроницаемых и непроницаемых линз алевролитов, глин, ухудшением фильтрационных свойств песков и другими факторами.

**Пути расширения минерально-сырьевой базы урана на южном фланге месторождения Моинкум.** В начале 90-х годов прошлого столетия в связи с прекращением асигнований все поисковые и разведочные работы в пределах Моинкумского рудного поля были прекращены. Все вскрытые в процессе поисково-оценочных работ рудопроявления, рудные залежи и отдельные рудные пересечения в скважинах остались не оцененными, не увязанными друг с другом, что не позволило на данной стадии изученности реально оценить рудоносность и перспективы огромной территории. Детально разведанные в свое время рудные залежи в уюкском (залежи 10у, 1у) и канжуганском (12к) горизонтах в начале века были вовлечены в эксплуатацию (СП «Катко», Таукентский ГХК).

В течение 2005-2006 гг. на южном фланге месторождения Моинкум было проведено специализированное глубинное геологическое картирование (СГГК-50) масштаба 1:50000, которое решало главные задачи:

1. Оценка степени опоскованности и оценки выявленных в пределах фланга (за пределами горных и геологических отводов действующих рудников) рудных залежей во всех продуктивных и перспективных горизонтах палеогена;
2. На основе анализа всех имеющихся материалов наметить конкретные пути расширения существующей сырьевой базы урана, особенно вблизи добывающих предприятий.

Для решения второй задачи предусматривался подсчет ресурсов урана по категориям Р<sub>1</sub> и Р<sub>2</sub> выявленных ранее рудных залежей, запасы по которым не были квалифицированы по промышленным категориям по каким-либо причинам.

Канжуганский горизонт (средний-верхний эоцен) оказался опоскован очень слабо и мог рассматриваться на данной стадии лишь как потенциально рудоносный. Рудомещающий иканский горизонт (средний эоцен) представлен мелкими рудными залежами, прошедшими поисково-оценочную стадию, но с неподсчитанными ресурсами.

Уюкский, самый продуктивный горизонт месторождения Моинкум, характеризуется единственной крупной залежью 1бу (участок 3-М), на которой в прежние годы были проведе-



ны поисково-оценочные работы и даже начата, но не окончена, предварительная разведка.

Последняя (до работ по СГТК-50) оценка перспектив южной части месторождения, с подсчетом запасов по промышленной категории  $C_2$ , была проведена в 1987 году (по состоянию на 01.01.87 г.). Минеральные ресурсы отчетной площади приведены в таблице 1.

Таблица 1

Рудовмещающие горизонты	Категория запасов		Всего по $C_2+P_1$ (т.)	№№ рудных залежей
	$C_2$ (т.)	$P_1$ (т.)		
Уюкский	10 091	-	10 091	16у
Иканский	2 774	3 150	5 924	2и, 3и (кат. $C_2$ ), 1и, 4и, 5и, 7и, 8и ( $P_1$ )
Канжуганский	-	2 970	2 970	7к, 14к, 17к, 19к, 20к, 22к
Всего по горизонтам:	<b>12 865</b>	<b>6 120</b>	<b>18 985</b>	

Примечание: Ресурсы по кат.  $P_1$  подсчитаны по линейной продуктивности.

Как видно из таблицы, самая крупная залежь 16у была оценена лишь по категории  $C_2$  в центральной части, а опоискованные по более редкой сети ресурсы на флангах остались не посчитанными.

Залежь 16у расположена в центральной части месторождения и залегает в уюкском продуктивном горизонте на глубинах 400-440м. В плане - это непрерывная лента N-образной формы общей протяженностью 26 км. Ширина её на прямолинейных участках меняется от 50 м до 300м, а на участках изгибов достигает 1100 м. (рис. 2). В разрезе встречаются практически все морфологические элементы роллов (рис. 3, 4). На всем протяжении залежи хорошо развиты мешковые части, часто короткие и линзующиеся в разрезе (залежи бокового влияния ЗПО). На раздувах наибольшую ширину имеет нижнее крыло. Мощность в крыльях - до 5-6 м, в мешковых частях - от 3-5 м до 14-17 м. Содержание урана варьирует от 0,01 % до 0,1%, причем в крыльях - заметно богаче.

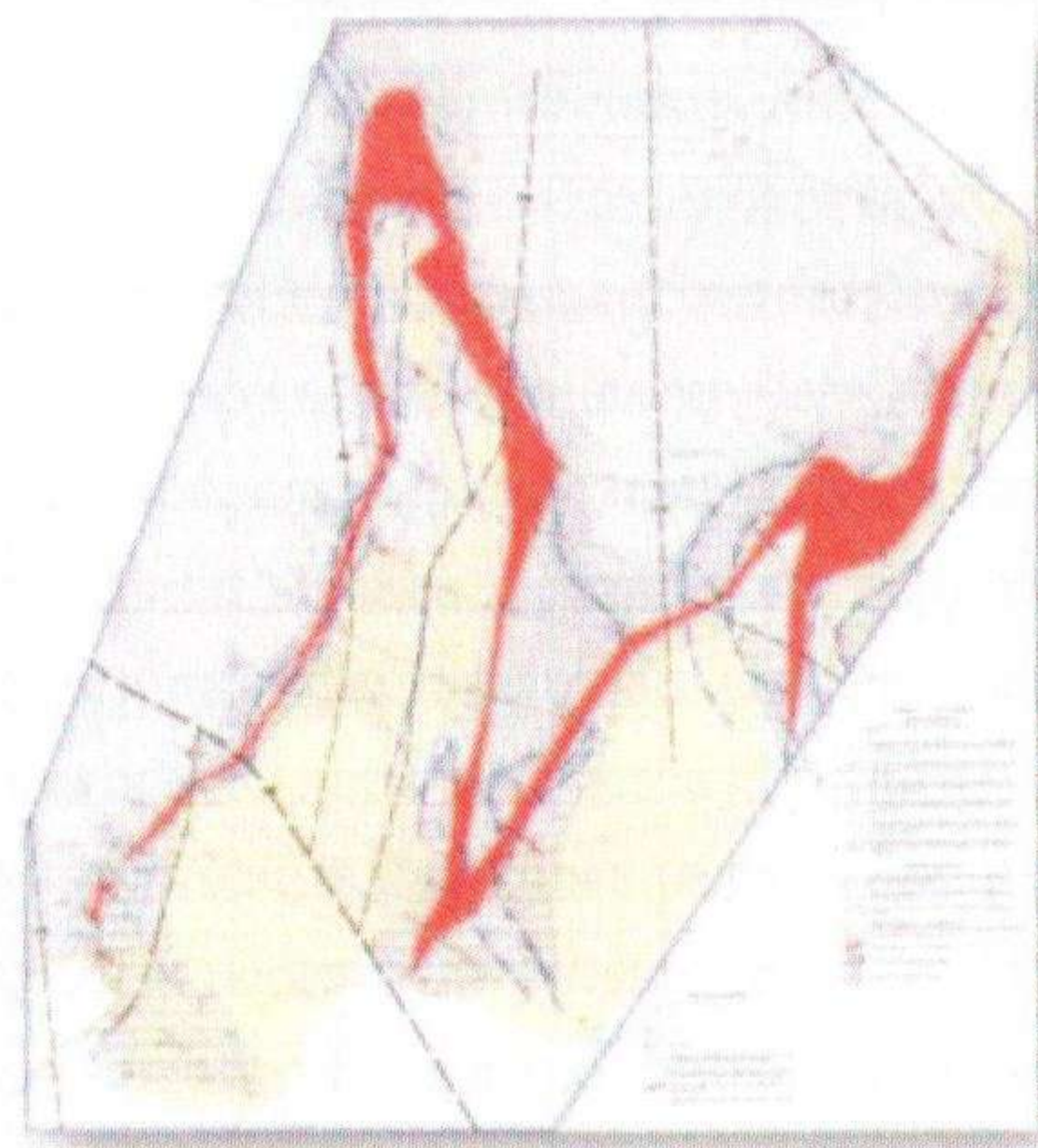


Рис. 2. Литолого – геохимическая схема уюкского горизонта

В процессе работ по СГТК-50 переосмысление и тщательная переоценка осуществлялась лишь на тех участках залежей и ЗПО с установленной продуктивностью, где поисковая сеть позволяла выделить и оконтурить блоки для подсчета ресурсов категории  $P_1$  и  $P_2$ .

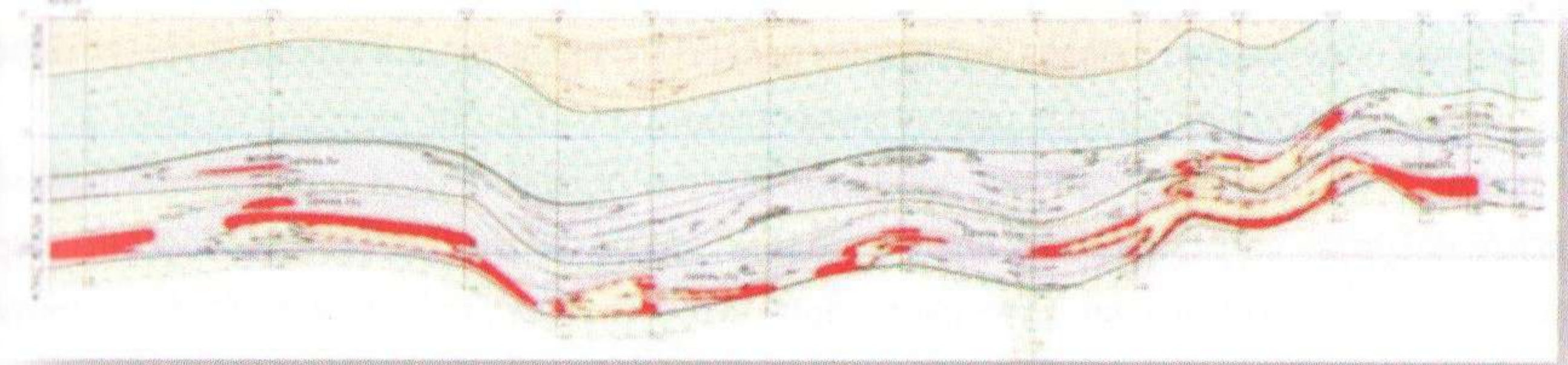


Рис. 3. Продольный геологический разрез

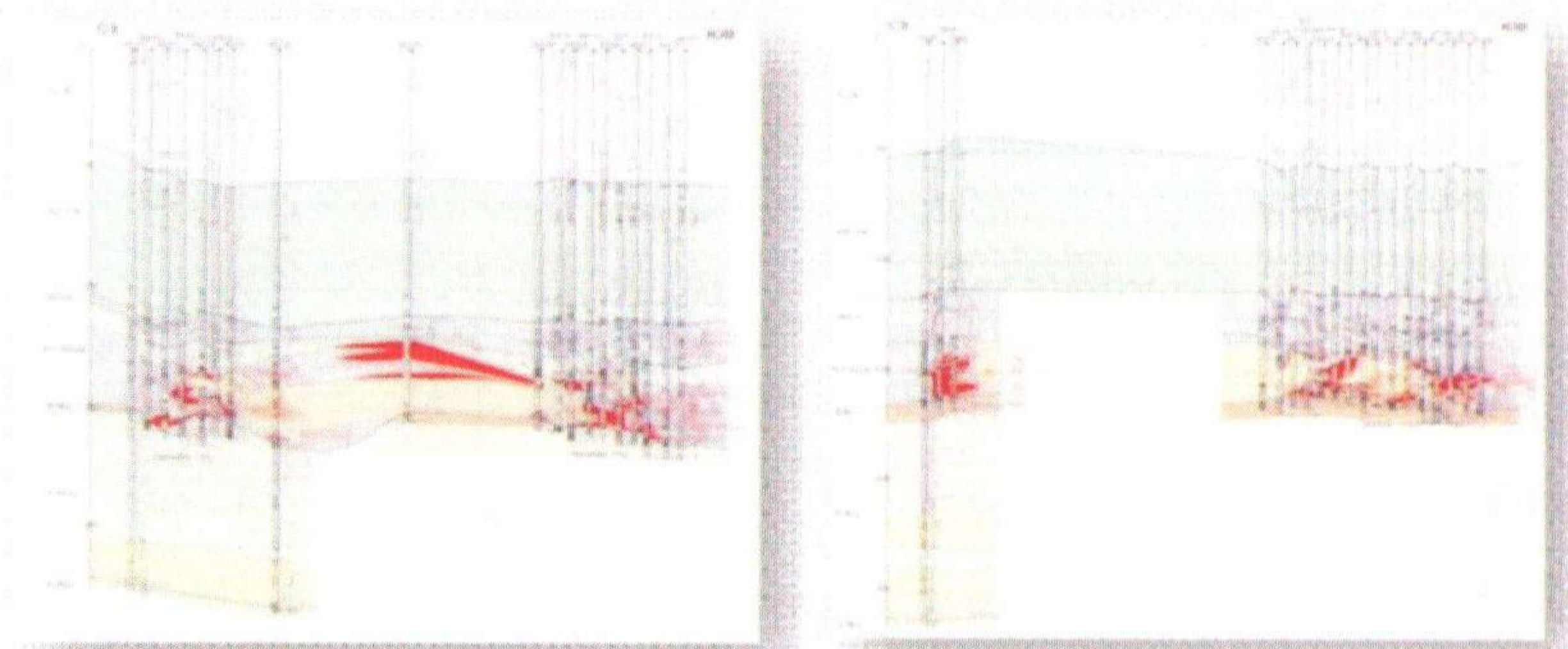


Рис. 4. Литолого-геохимические разрезы по профилям 592-М (а), 590-М (б).

При этом строго соблюдались требования и ограничения, обусловленные условиями для подсчета балансовых запасов, установленные ГКЗ СССР в 1987 году. Результаты этих работ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Прогнозные ресурсы категорий  $P_1$  и  $P_2$  по результатам работ по СГТК-50 2005-2006 гг. (состояние на 01.01.2007г.)

Рудовмещающие горизонты	Категория запасов		Всего по $P_1+P_2$ (т.)	№№ рудных залежей
	$P_1$ (т.)	$P_2$ (т.)		
Уюкский	5 463	-	5 463	16у
Иканский	3 678	4 386	8 064	4и, 5и, 8и ( $P_1$ )
Канжуганский	750	1 440	2190	19к, 20к ( $P_1$ )
Всего по горизонтам:	<b>9 891</b>	<b>5 826</b>	<b>15 717</b>	



*Примечание:* Ресурсы по кат.  $P_2$  подсчитаны по линейной продуктивности с понижающим коэффициентом 0,2 за пределами подсчетных блоков категории  $P_1$  на участках с установленной продуктивностью ЗПО.

Сравнивая полученную цифру прогнозных ресурсов с предыдущей таблицей, легко определить, что в результате детальных ревизионных работ по СГТК она выросла на 9597 т.

**Участок 3-М**, включающий залежи 16у, 5и и 8и, обладает наиболее значительными крупными ресурсами урана из всех выделенных участков благодаря выявлению на его территории очень крупной залежи в уюкском горизонте - 16у. Залежь почти на всем её протяжении оценена по категории  $C_2$ . Все остальное оруденение, вскрытое в пределах площади в иканском и верхнеканжуганском горизонтах, оценено по кат.  $P_1$  по линейной продуктивности. Общее состояние минеральных ресурсов на участке 3-М видно из таблицы 3.

Таблица 3

*Общее состояние минеральных ресурсов на участке 3-М по результатам геологоразведочных работ (1987г.) и ревизионных детальных работ по СГТК (2005-2006 гг.) (состояние на 01.01.2007г.)*

Рудовмещающие горизонты	Категория запасов			Всего по $C_2+P_1+P_2$ (т.)	№№ рудных залежей
	$C_2$ (т.)	$P_1$ (т.)	$P_2$ (т.)		
Уюкский	10 091	5 463	-	15 554	16у
Иканский	-	1 002	563	1 565	5и, 8и
Всего по участку 3-М:	<b>10 091</b>	<b>6 465</b>	<b>563</b>	<b>17 119</b>	

Таким образом, общие запасы с ресурсами по залежи 16у составили 15594 т, что отвечает среднему по масштабам месторождению. Необходимо, подчеркнуть что подсчитанные ресурсы по всем горизонтам совершенно реальны и при переводе их в промышленные категории  $C_1$  и  $C_2$  следует ожидать лишь увеличения итоговых цифр, но никак не наоборот.

**Выводы.** В настоящее время по заданию ГРК НАК «Казатомпром» АО «Волковгеология» силами ЦОМЭ проводит детальную разведку залежей 16у, 5и и 8и на участке 3-М с выявлением балансовых запасов категорий  $C_1$  и  $C_2$  с проведением натурного опыта по подземному выщелачиванию. По предварительным данным подсчитанные по итогам СГТК-50 запасы урана подтверждаются полностью. Через 2-3 года Таукентский ГХК приступит к эксплуатации залежи 16у и проблема дефицита подготовленных запасов урана будет снята с повестки на много лет.

В результате анализа всех проведенных работ по СГТК-50 мы пришли к убеждению, что перспективы расширения минерально-сырьевой базы Моинкумского месторождения далеко не исчерпываются цифрами, приведенными выше. Для месторождения характерна крайне слабая и неравномерная изученность продуктивных иканского и

канжуганского горизонтов, в большинстве случаев они опойсковывались лишь попутно с работами на уюкский горизонт. Вероятность выявления новых высокопродуктивных залежей в икане и канжугане как на площадях выделенных детальных участков, так и за их пределами, довольно реальна, но для этого требуется возобновление геологоразведочных работ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров Н.Н., Язиков В.Г., Аубакиров Х.Б. и др. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Алматы, Гылым, 1995.
2. Язиков В.Г., Забазнов В.Л., Петров Н.Н. и др. Геотехнология урана на месторождениях Казахстана. Алматы, Гылым, 2001.
3. Петров Н.Н., Малахов А.А., Хасанов Э.Г. Оценка современного состояния урановой сырьевой базы Республики Казахстан и перспектив ее расширения и совершенствования. (Отчет по теме 01 «Составление прогнозно-металлогенической карты на уран в масштабе 1:1 500 000 за 1995-2001 гг.), Алматы, 2002 г.
4. Черняков В.М., Кондрашов В.П., Мендыгалиев А.С., Кашафутдинов И.В., Кисельгоф Ю.И. и др. Отчет о специализированном глубинном геологическом картировании мезозой-кайнозойского чехла в масштабе 1:50 000 (СГТК-50) в юго-западной части Шу-Сарысуской депрессии в пределах Моинкумского рудного поля (листы L-42-138-Б, 139-А), Алматы, 2005-2006гг.

*Выражаем свою благодарность за оказанную помощь в подготовке доклада:*

*Шишкову И.А. - директору филиала ЦОМЭ АО «Волковгеология»*

*Мендыгалиеву А.С. - начальнику геологической партии*

*Чернякову В.М. - ведущему геологу*



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Дуйсебаев А., Дуйсебаев Б.А., Жолдыбаев Т.К., Садыков Б.М.  
Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы

### ВВЕДЕНИЕ

Трагические события в Японии еще раз высветили низкий уровень безопасности действующих реакторов и напомнили слова лауреата Нобелевской премии Басова и академика Феоукисова: «Если атомная энергетика не станет абсолютно безопасной, она вообще перестанет существовать... Поиск конструкции реактора, в котором все подчинено одной идее – безопасности обладает абсолютным приоритетом, пусть даже в ущерб некоторым другим экономическим и техническим показателям»

В середине прошлого столетия была выдвинута идея создания ядерно-энергетической системы, реализованная к настоящему времени как Accelerator Driven System (ADS), состоящая из ускорителя протонов (дейтронов) с энергией 0,8–1,5 ГэВ и током 30–100 мА, нейтронопроизводящей мишени мощностью 30–100 МВт и подкритического реактора (бланкета) с потоком тепловых нейтронов  $(1-5)10^{15} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Помимо получения энергии, система является мощным трансмутатором долгоживущих радиоактивных отходов атомной промышленности [1].

Исследования по созданию ADS развернуты в США – программа ABCATW, Японии – программа «ОМЕГА», Франции – «SPIN», в России, SNEPT – Европейская стратегическая технологическая платформа устойчивого развития атомной энергетике с программой MYRRHA – Бельгия, являющейся составной частью Европейского комплекса перспективных исследовательских реакторов ADS. Заметим, что по сравнению с термо-ядерной технологией, где еще масса нерешенных физических и технических проблем, гибриды ADS являются комбинацией достаточно хорошо отработанных технологий.

Техническое воплощение такой ядерно-энергетической системы связано с необходимостью получения большого объема точных ядерных данных. Согласно физическому сценарию работы ADS, высокоэнергичные протоны при взаимодействии с ядрами конструктивных элементов и топлива реактора в результате реакций скалывания порождают спектр вторичных частиц (нейтроны, протоны, дейтроны, нуклиды гелия  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  и т.д.) которые, в свою очередь, способны через прямые и неравновесные (предравновесные) реакции приводить к образованию третичных частиц и т.д.

Физически и экономически невозможно измерить все необходимые сечения ядерных реакций для элементов ADS. В этой ситуации крайне важна разработка и развитие ядерных моделей механизма реакций, повышение их предсказательной силы. Особое значение имеет развитие концепции предравновесного распада ядер, отражающей динамику образования и эволюции возбужденной системы к равновесному состоянию [2

– 4]. Характерными особенностями реакции на этой стадии является образование большого количества высокоэнергичных частиц, обладающих значительной асимметрией вперед в угловых распределениях. Это означает, что энергия возбуждения ядра распределяется среди ограниченного числа степеней свободы, которые имеются на ранних стадиях процесса релаксации и что направление движения частицы во входном канале на этих стадиях, в определенной степени сохраняется.

Не менее важной задачей остается тестирование и совершенствование вычислительных кодов, обладающих достаточной предсказательной способностью.

Эксперименты, связанные с измерением инклюзивных распределений легких заряженных частиц, инициированных налетающими ионами  $^3\text{He}$ , весьма ограничены [5–7].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Измерения сечений ядерных реакций ( $^3\text{He}, \text{xd}$ ), ( $^3\text{He}, \text{xt}$ ) и ( $^3\text{He}, \text{x}\alpha$ ) на ядре  $^{27}\text{Al}$  выполнены на изохронном циклотроне У–150М ИЯФ НЯЦ РК [8]. Энергия налетающих ионов  $^3\text{He}$  выбрана равной 50,5 МэВ. В качестве исследуемого ядра–мишени был выбран  $^{27}\text{Al}$  как кандидат на конструкционный элемент любых ядерных установок.

Камера рассеяния установлена на канале № 1, имеющем угол поворота пучка  $90,5^\circ$ , на расстоянии 23,9 м от выхода пучка циклотрона [9]. Максимальная угловая неопределенность системы коллиматоров, расположенной непосредственно перед камерой рассеяния составляет  $\pm 24'$ , что обеспечивает линейные размеры пучка на мишени  $\sim 3$  мм.

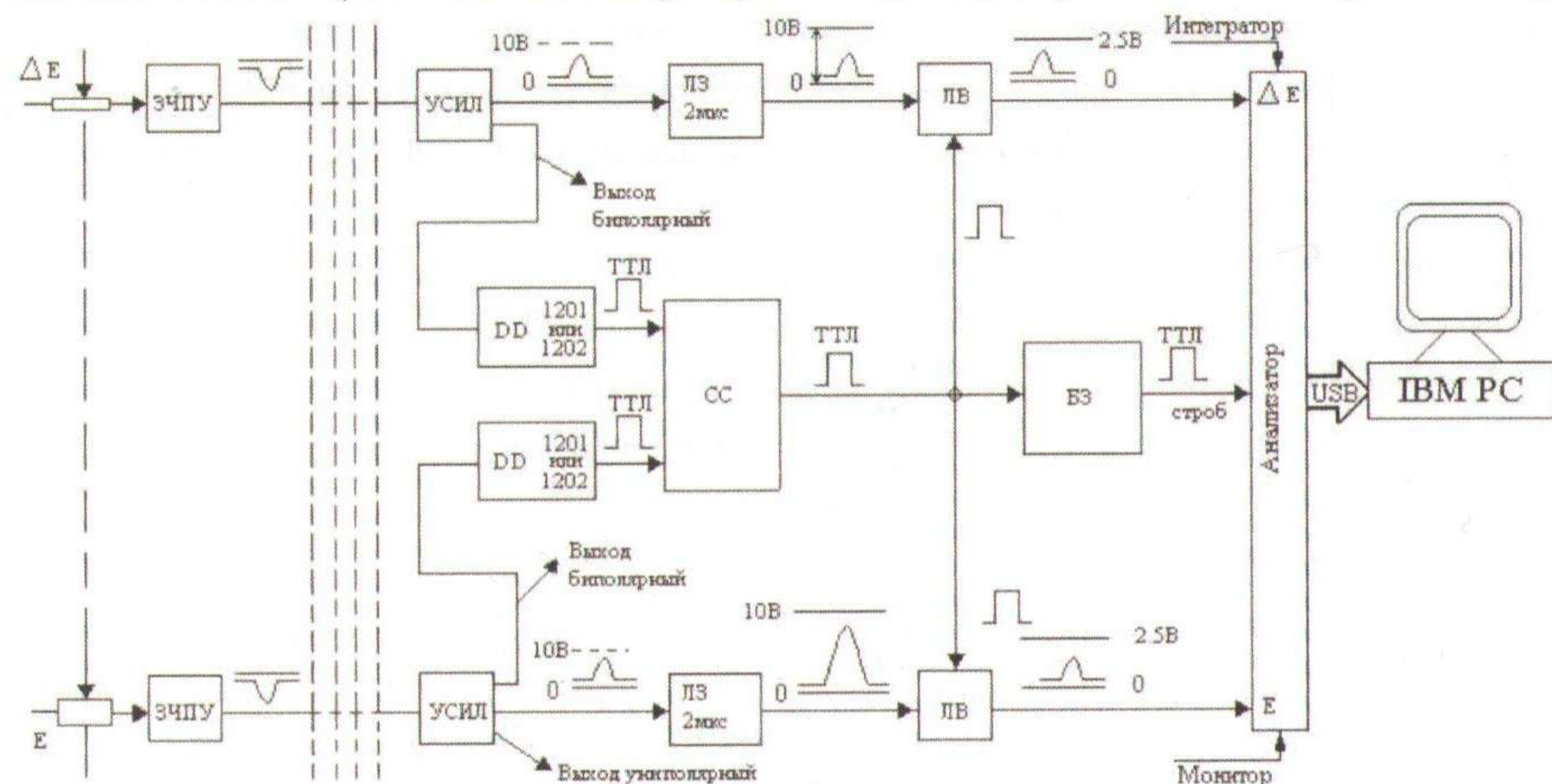
На вакуумплотненной вращающейся крышке камеры расположен основной спектрометр для регистрации вторичных частиц. Пульт управления камерой позволяет дистанционно изменять угол  $\theta$  регистрации продуктов реакций в интервале от  $10^\circ$  до  $170^\circ$  градусов в лабораторной системе координат с точностью отсчета углов  $\pm 0,1^\circ$ . В центре реакционной камеры расположена восьмипозиционная кассета с мишенями, устанавливаемая дистанционно под пучок электрическими приводами под углами  $-45^\circ$ ,  $+90^\circ$ ,  $+45^\circ$  относительно оси пучка.

Для идентификации продуктов реакций по массам и энергии принята ( $\Delta E - E$ ) методика и осуществляется системой многомерного программируемого анализа с использованием спектрометрических линеек на основе электроники фирм ORTEC и POLON, блок–схема которой представлена на рисунке 1. При этом реализована новая интегрированная схема, включающая в себя амплитудно–цифровой преобразователь, счетчики импульсов и крейт–контроллер с последующим выходом на ПК. Сигналы от  $\Delta E$ – и  $E$ –детекторов поступают по двум спектрометрическим трактам («E», «dE») на двумерный анализатор, выполненный на микроконтроллерах и представляющий собой выносной блок, подключаемый к USB–порту персонального компьютера. Системная программа задает режимы работы анализатора и передачу данных в компьютер, в программу для графической визуализации данных и сохранения их в его файлах.

Выносной блок содержит также счетчик управляющих импульсов для оценки величины просчетов в набираемой двумерной матрице путем сопоставления их числа с ин-



тегральным количеством событий, зарегистрированных в поле матрицы, и два счетчика внешних событий (сигналов от интегратора тока пучка ускорителя и монитора мишени).



ЗЧПУ – зарядово-чувствительный преусилитель, Усил – усилитель, ЛЗ – линия задержки, СС – схема совпадений, ЛВ – линейные ворота, БЗ – блок задержки

Рисунок 1 – Блок-схема системы регистрации и идентификации заряженных частиц

Основные кинематические характеристики эксперимента и толщина мишени  $^{27}\text{Al}$  приведены в таблице 1. При измерении спектров заряженных частиц в большом энергетическом диапазоне возникают трудности с выбором детекторов полного поглощения (E-детекторов). Для измерения однозарядных частиц нами используется в качестве стопового детектор на основе сцинтиллятора CsI(Tl). В качестве пролетных детекторов установлены кремниевые детекторы толщиной 100 – 200 мкм. При измерении вторичных  $\alpha$ -частиц толщины тонких dE-детекторов составят 25 – 50 мкм. Стоповым детектором служит толстый кремниевый детектор толщиной 1 мм.

Таблица 1

Основные кинематические характеристики эксперимента

Ядро-мишень (толщина)	Реакция	Диапазон энергии вылетающих частиц, МэВ
$^{27}\text{Al}$ (3,65 мг/см <sup>2</sup> )	$^3\text{He}, \text{xd}$	3,1 – 39,8
	$^3\text{He}, \text{xt}$	2,9 – 24,6
	$^3\text{He}, \text{xa}$	5,7 – 40,9

Получены дважды-дифференциальные сечения реакции ( $^3\text{He}, \text{xd}$ ), ( $^3\text{He}, \text{xt}$ ) и ( $^3\text{He}, \text{xa}$ ) на ядре  $^{27}\text{Al}$  при энергии налетающих ионов  $^3\text{He} = 50,5$  МэВ. В спектрах дейтронов, измеренных под передними углами проявляется широкий бамп в сечениях, связанный с развалом  $^3\text{He}$  в поле ядра мишени.

Сечения высокоэнергетических вылетающих частиц с ростом угла значительно падают, что указывает на то, что вылетающие частицы, в определенной степени, сохраняют направление движения частицы во входном канале.

Экспериментальные данные по дважды-дифференциальным сечениям реакции ( $^3\text{He}, \text{xd}$ ), ( $^3\text{He}, \text{xt}$ ) и ( $^3\text{He}, \text{xa}$ ) на ядре  $^{27}\text{Al}$  при энергии налетающих частиц 50,5 МэВ были проинтегрированы в измеренном угловом диапазоне. Полученные интегральные сечения, усредненные в диапазоне энергий 0,5 МэВ, представлены на рисунках 2-4.

Современная трактовка предравновесного механизма берет свое начало из экситонных моделей (ЭМ), первая из которых была предложена Гриффином [10]. С момента своего создания данная модель была существенно дополнена. Несмотря на все неоднозначности, экситонная модель остается одним из самых мощных инструментов в описании инклюзивных спектров.

Теоретический анализ экспериментальных результатов был выполнен в рамках модифицированной двухкомпонентной версии экситонной модели предравновесного распада ядер [11 – 13]. В рамках этой модели принимается, что ядро имеет набор эквидистантных одночастичных состояний. Взаимодействие, в результате которого ядро переходит из одного состояния в другое, считается двухчастичным и достаточно слабым, что позволяет применить теорию возмущений при вычислении вероятностей переходов. Энергия системы сохраняется.

Состояние ядра характеризуется четырьмя параметрами  $r\pi$ ,  $h\pi$ ,  $r\nu$  и  $h\nu$ , где  $r$  и  $h$  обозначают частичные и дырочные, а  $\pi$  и  $\nu$  протонные и нейтронные степени свободы, соответственно. Компаунд ядро формируется с частично-дырочной конфигурацией, которая учитывает налетающие нуклоны как частичные степени свободы и не учитывает дырочные степени свободы. Такая конфигурация обозначается как  $(r\pi, h\pi, r\nu, h\nu) = (Z_a, 0, N_a, 0)$ , где  $a$  относится к бомбардирующей частице.

Предполагается, что разность между числом частиц и дырок в процессе перехода в равновесное состояние остается постоянной и для компаунд ядра  $r\pi - h\pi = Z_a$ ,  $r\nu - h\nu = N_a$  и  $r - h = A_a$ , где  $A_a$  – массовое число налетающей частицы. Это условие не всегда выполняется, особенно при приближении к состоянию равновесия, но вполне адекватно для предравновесных вычислений.

В двухкомпонентной экситонной модели используется два набора одночастичных состояний, отдельно для протонов и нейтронов. Они определяются плотностью одночастичных состояний  $g_{\pi 0}$  и  $g_{\nu 0}$  соответственно. Принимается, что они пропорциональны  $Z$  и  $N$  рассматриваемого ядра:

$$g_{\pi 0} = \frac{Z}{K_g}, \quad (1)$$

$$g_{\nu 0} = \frac{N}{K_g}. \quad (2)$$

Плотность частично-дырочных возбужденных состояний ядра бралась согласно



Вильямсу [14]:

$$\omega_{ESM}(p, p_\pi, E) = \frac{(g_{\pi 0})^{n_\pi} (g_{\nu 0})^{n_\nu} (E - A(p, p_\pi, E))^{n-1}}{p_\pi! h_\pi! p_\nu! h_\nu (n-1)!}, \quad (3)$$

где  $A(p, p_\pi, E)$  поправка, определяемая принципом Паули.

Во всех расчетах по модели Гриффина в качестве исходной бралась частично-дырочная конфигурация. Нормировочный коэффициент  $K_g$  принимался равным 15 МэВ. При параметризации квадрата матричных элементов использовались значения нормировочных констант:  $K_{\pi\pi}$ :  $K_{\nu\nu}$ :  $K_{\nu\nu} = 2200:900:900$  МэВ<sup>2</sup>. Эти значения параметров являются рекомендованными в PRECO-2006 [15], использованной нами в качестве основной расчетной программы.

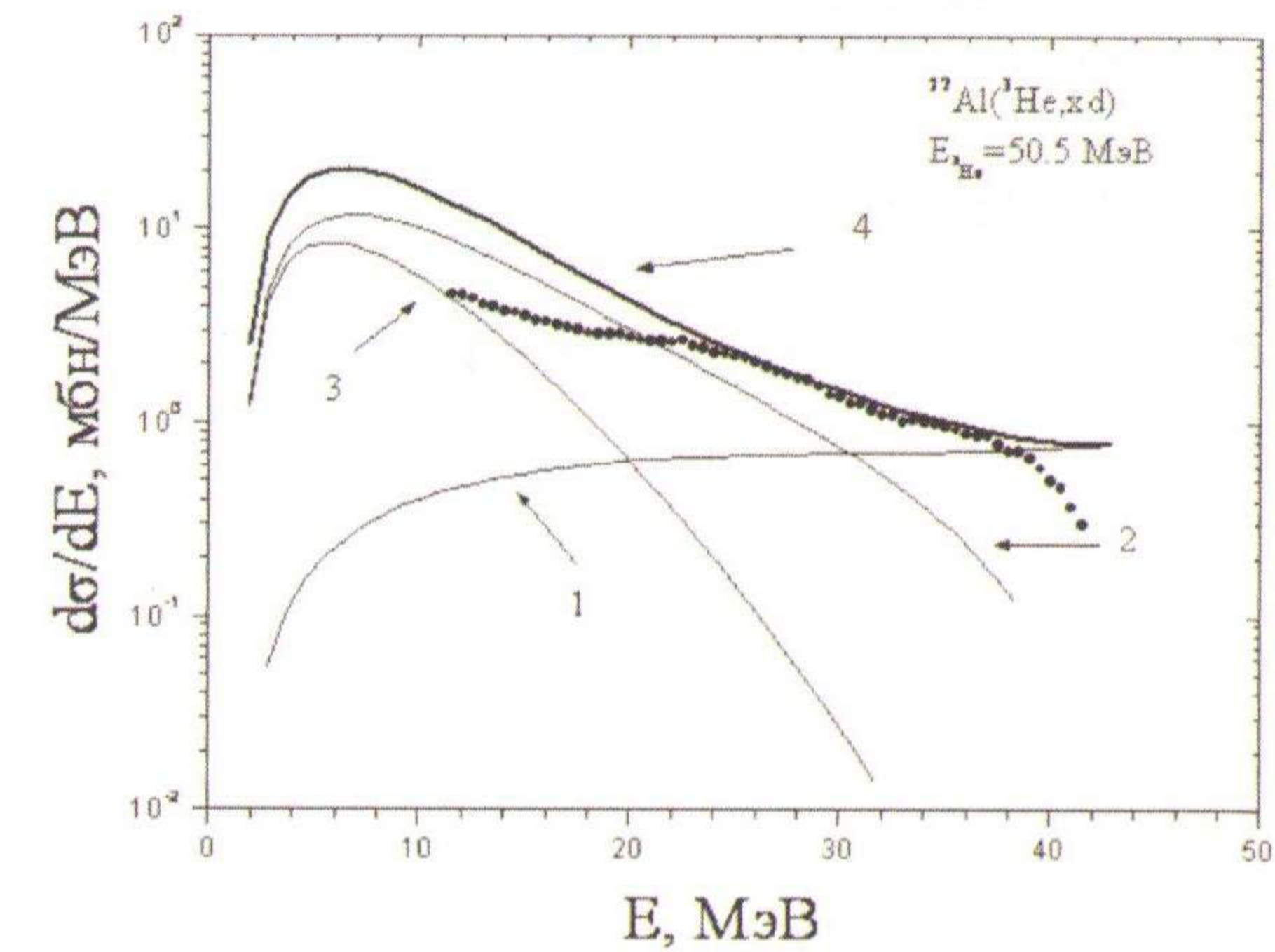
Для полного описания эмиссии частиц в ядерных реакциях в дополнение к вычислениям в рамках экситонной модели были проведены расчеты в рамках других механизмов. При вычислении равновесного сечения использовались расчеты в рамках формализма распада составного ядра Вайскопфа. Определены вклады прямых процессов (передача – выбивание нуклонов, неупругое рассеяние).

На рисунках 2 – 4 совместно с экспериментальными результатами представлены рассчитанные вклады механизмов, формирующих инклюзивные сечения реакций (<sup>3</sup>He,xd), (<sup>3</sup>He,xt) и (<sup>3</sup>He,xα) на ядре <sup>27</sup>Al при энергии налетающих частиц 50,5 МэВ на ядре <sup>27</sup>Al. В таблице 2 приведены численные значения вкладов различных механизмов ядерных реакций в формирование интегральных спектров (<sup>3</sup>He,xd), (<sup>3</sup>He,xt) и (<sup>3</sup>He,xα) на ядре <sup>27</sup>Al при  $E^3\text{He} = 50,5$  МэВ.

Из сравнения экспериментальных и теоретически рассчитанных интегральных спектров следует, что предравновесный механизм является определяющим в формировании сечений (<sup>3</sup>He,xd) в середине энергетического диапазона (рисунок 2). Высокоэнергетическая (с 35 МэВ) часть спектра определяется одноступенчатыми прямыми механизмами. В низкоэнергетической части спектра в дополнение к предравновесному является значительным вклад составных процессов.

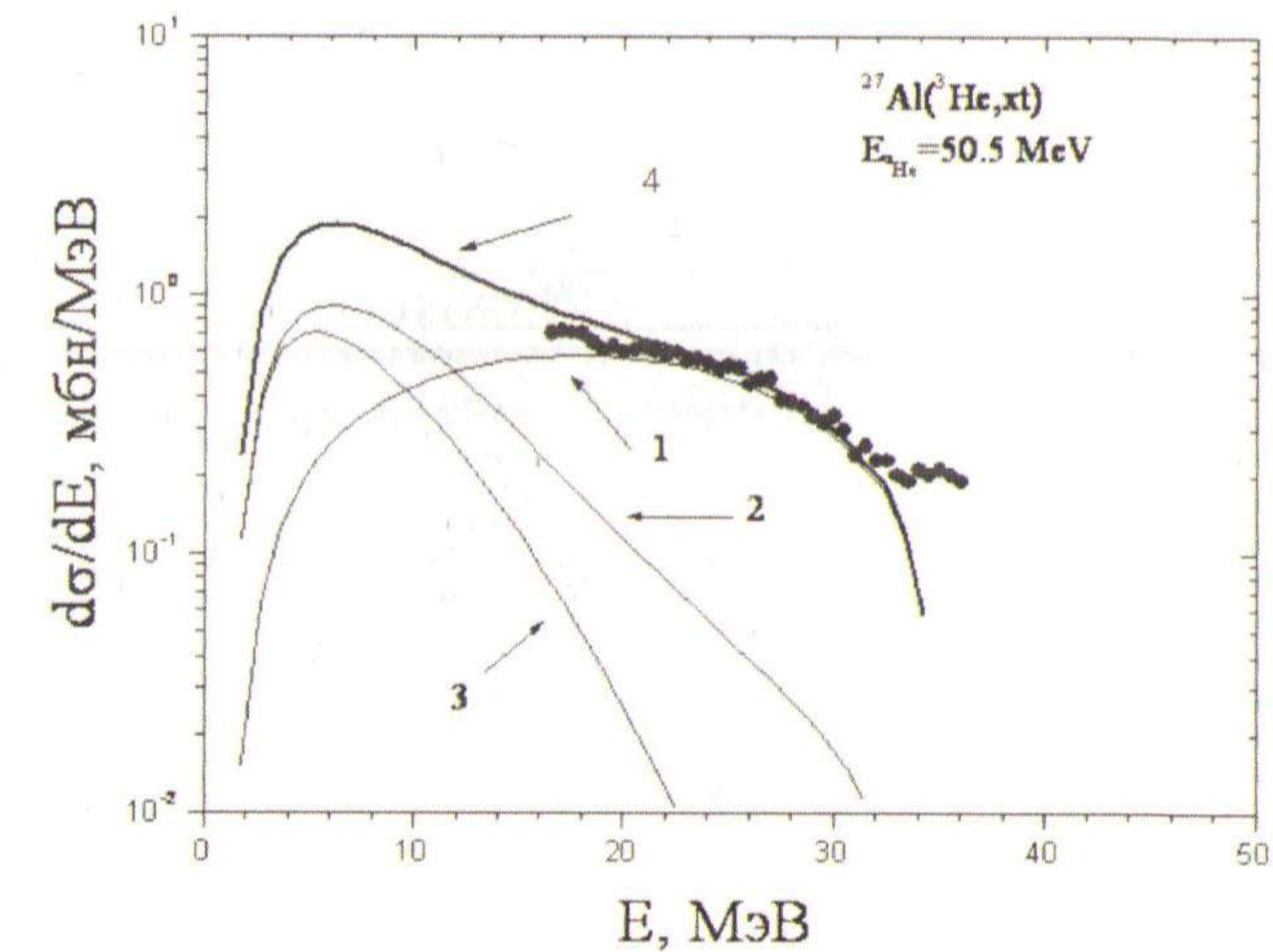
На рисунке 3 совместно с экспериментальными результатами представлены рассчитанные вклады механизмов, формирующих инклюзивные сечения реакций (<sup>3</sup>He,xt) на ядре <sup>27</sup>Al. Из сравнения экспериментальных и теоретически рассчитанных интегральных спектров следует, что образование вторичных тритонов в диапазоне энергий 18 – 35 МэВ идет преимущественно через одноступенчатые прямые механизмы. Низкоэнергетическая часть спектра тритонов формируется двумя конкурирующими процессами – предравновесным и составным.

При рассмотрении вкладов механизмов, формирующих инклюзивные сечения реакций (<sup>3</sup>He,xα), показанных на рисунке 4, показано, что образование α-частиц низких энергий идет преимущественно через равновесное излучение. Начиная с энергии 15 МэВ преобладающим процессом становится вылет предравновесных α-частиц. За высокоэнергетическую часть спектра (более 25 МэВ) ответственны одноступенчатые прямые механизмы.



Символы – эксперимент, 1 – одноступенчатые процессы, 2 – предравновесная компонента, 3 – равновесная эмиссия, 4 – суммарное интегральное сечение.

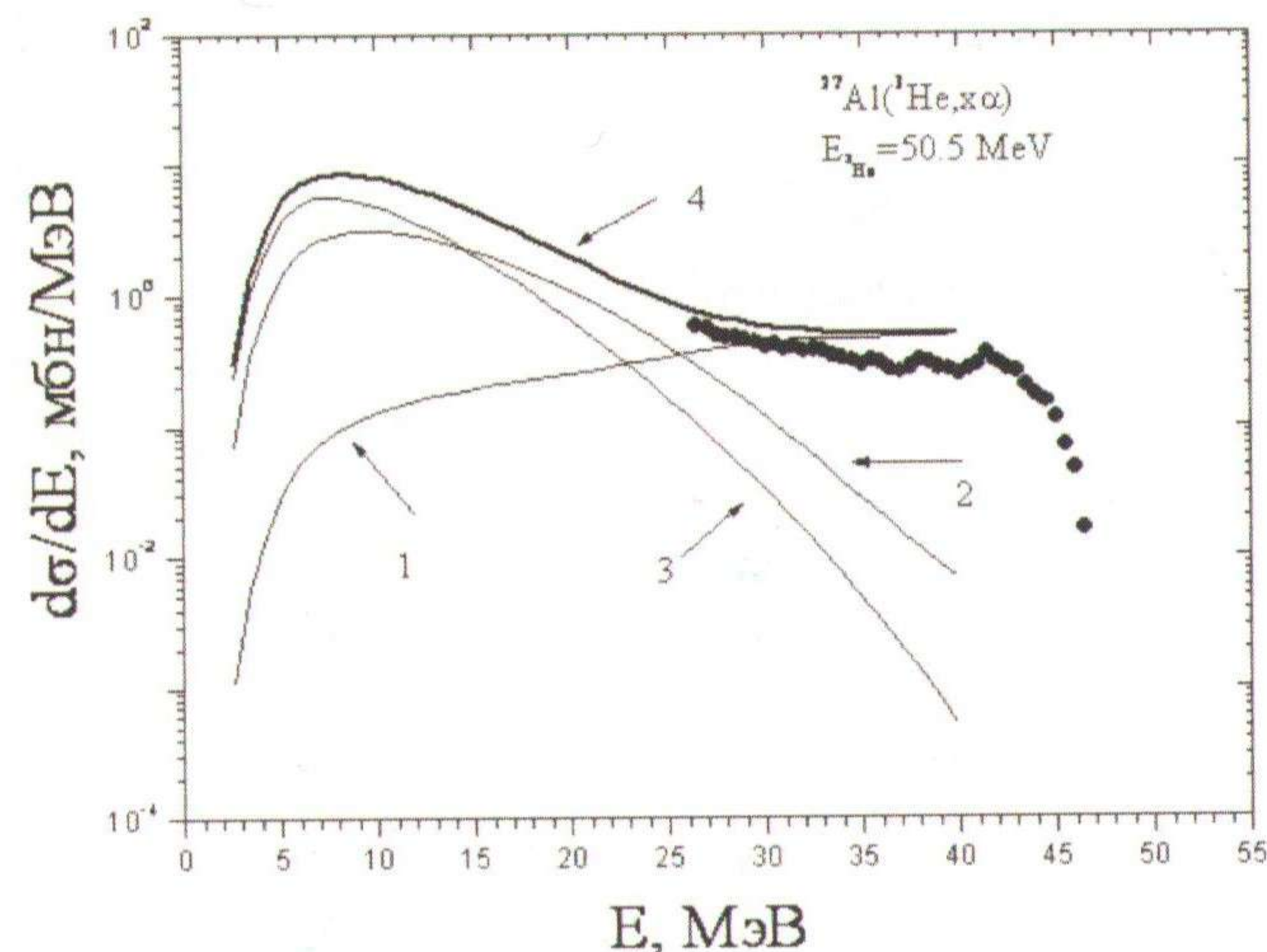
Рисунок 2 – Сравнение экспериментальных интегральных сечений реакций <sup>27</sup>Al(<sup>3</sup>He,xd) с расчетами в рамках экситонной модели



Символы – эксперимент, 1 – одноступенчатые процессы, 2 – предравновесная компонента, 3 – равновесная эмиссия, 4 – суммарное интегральное сечение

Рисунок 3 – Сравнение экспериментальных интегральных сечений реакций <sup>27</sup>Al(<sup>3</sup>He,xt) с расчетами в рамках экситонной модели





Символы – эксперимент, 1 – одноступенчатые процессы, 2 – предравновесная компонента, 3 – равновесная эмиссия, 4 – суммарное интегральное сечение.

Рисунок 4 – Сравнение экспериментальных интегральных сечений реакций  $^{27}\text{Al}({}^3\text{He}, x\alpha)$  с расчетами в рамках экситонной модели

Таблица 2

Вклады различных механизмов ядерных реакций в формирование интегральных спектров  $({}^3\text{He}, xd)$ ,  $({}^3\text{He}, xt)$  и  $({}^3\text{He}, x\alpha)$  на ядре  $^{27}\text{Al}$  при  $E^3\text{He} = 50,5$  МэВ

Реакция	Энергетический диапазон, МэВ	Механизмы ядерных реакций			
		Прямые, мбн	Предравновесный, мбн	Равновесный, мбн	Сумма, мбн
$({}^3\text{He}, xd)$	2 – 43	25,3 (9%)	170 (60%)	88,4 (31%)	283,7 (100%)
$({}^3\text{He}, xt)$	2 – 36	14,3 (44,5%)	10,9 (34%)	6,9 (21,5%)	32,1 (100%)
$({}^3\text{He}, x\alpha)$	3 – 40	12,1 (9,7%)	47,8 (38,5%)	64,4 (51,8%)	124,3 (100%)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые получены экспериментальные дважды-дифференциальные и интегральные спектры реакций  $({}^3\text{He}, xd)$ ,  $({}^3\text{He}, xt)$  и  $({}^3\text{He}, x\alpha)$  в широком диапазоне энергий и углов, инициированных ионами  ${}^3\text{He}$  с энергией 50,5 МэВ на ядре  $^{27}\text{Al}$ . Полученные экспериментальные результаты восполняют отсутствующие величины сечений исследованных реакций и могут быть использованы при разработке новых подходов теории ядерных реакций, а также при конструировании безопасных и безотходных гибридных ядерно-энергетических установок, расчетах распределений первично выбитых атомов в радиа-

ционном материаловедении, космической технике, в ядерной медицине.

Выполнены теоретические расчеты экспериментальных инклюзивных спектров на основе модифицированной двухкомпонентной экситонной модели предравновесного распада ядер. Установлено, что сечения в реакциях  $({}^3\text{He}, xd)$  и  $({}^3\text{He}, x\alpha)$  на ядре  $^{27}\text{Al}$  преимущественно формируются механизмами предравновесного распада и распада из составного ядра. В реакции  $({}^3\text{He}, xt)$  значительный вклад в инклюзивные сечения вносят одноступенчатые прямые механизмы.

Работа была выполнена в рамках 0606/ГФ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зайдель К., Зелигер Д., Райф. // ЭЧАЯ. – 1976. – Т.7, вып.2. – С.499.
2. Blann M. // Ann. Rev. Nucl. Sci. – 1975. – Vol.25. – P.123.
3. Gadioli E., Hodgson P.E. // New York: Oxford Univ. Press, 1992. – 328 p.
4. Герасимов А.С., Киселев Г.В. // ЭЧАЯ. 2001. Вып.1 (32). С.143.
5. Bisplinghoff J., Ernst J., Lohr R., Mayer-Kickuk T., Meyer P. // Nucl. Phys. 1976. Vol. A269. P.147.
6. Chevarier A., Chevarier N., Demeyer A., Hollinger G., Petrosa P. and Tran Minh Duc. // Phys. Rev. 1975. Vol.C11, №3. P.886.
7. Chevarier A., Chevarier N., Demeyer A., Alevra A., Lucas I.R., Magda M.T., Nistor M.E. // Nucl. Phys. – 1974. – Vol.A 231. – P.64.
8. Арзуманов А.А., Неменов Л.М., Анисимов О.И. и др. // Изв. АН КазССР, сер. физ.-мат. – 1973. – № 4. – С.6.
9. Дуйсебаев А.Д., Иванов Г.Н., Рыбин С.Н. // Изв.АН КазССР, сер.: физ. –мат. – 1983. – № 2. – С.80.
10. Griffin J. J. // Phys. Rev. Lett. 1966. Vol.17, № 9. P.478.
11. Kalbach C. // Phys. Rev. – 1986. – Vol.C33. – P.818.
12. Kalbach C. // J. Phys. 1995. – Vol.G21. P.1499.
13. Kalbach C // Phys. Rev. – 2005. – Vol.C71. – P.034606.
14. Williams F. C. // Nucl. Phys. – 1971. – Vol.A166. – P.231.
15. Kalbach C. PRECO-2006: // – Durham NC 27708–0308, 2007. – 184 p.



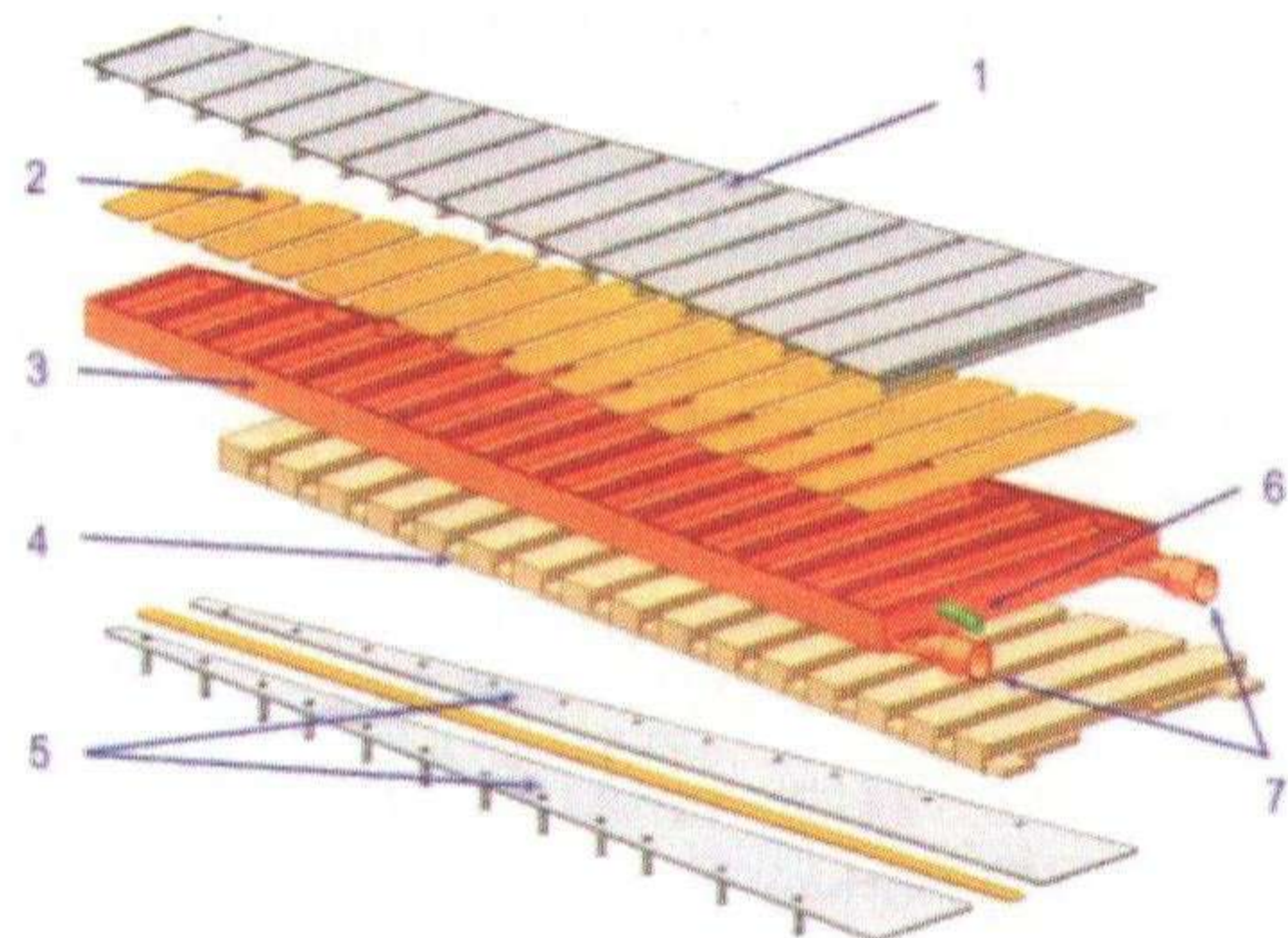
## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА С ЛИТИЕВОЙ КПС В УСЛОВИЯХ РЕАКТОРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Заурбекова Ж.А., Понкратов Ю.В., Гордиенко Ю.Н., Кульсартов Т.В.,  
Тулубаев Е.Ю., Тажиббаева И.Л., Кенжин Е.А.  
ИАЭ НЯЦ РК, г.Курчатов, ВКО, Казахстан

Проблемы деградации и разрушения обращенных к плазме материалов, накопления трития и загрязнения плазмы могут быть преодолены путем использования жидких металлов с низким зарядовым числом. Наилучшим кандидатом в качестве контактирующего с плазмой материала приемных пластин дивертора и других внутрикамерных устройств является литий.

Одной из проблем связанных с применением жидколитиевых систем в реакторах синтеза является определение параметров взаимодействия их плазмообращенной поверхности с рабочими газами, в условиях моделирующих реальную работу установок, т.е. в условиях нейтронного и гамма излучения.

В настоящее время в Казахстане совместно с российскими специалистами проводятся работы по созданию литиевого модуля приемного диверторного устройства токамака КТМ [1]. Литиевый модуль будет создан из литиевой капиллярно-пористой системы (КПС) с основой из нержавеющей стали [2]. Примерный вид дивертора приведен на рисунке 1.



1 – КПС; 2 – охлаждающие поверхности; 3 – коллектор;  
4 – резервуар с теплоносителем; 5 – поверхность коллектора; 6 – литиевый канал; 7 – охлаждающие каналы.

Рисунок 1 - Модуль дивертора с литиевой КПС

Целью работы было исследование влияния реакторного облучения на взаимодействие изотопов водорода с литиевой КПС.

На рисунке 2 приведен исследуемый образец литиевой КПС, который был изготовлен из стальной сетки толщиной 0,1 мм и размером ячейки около 100 мкм. Затем

в специальном устройстве по известной технологии осуществлялась заливка образца жидким литием через фитиль.

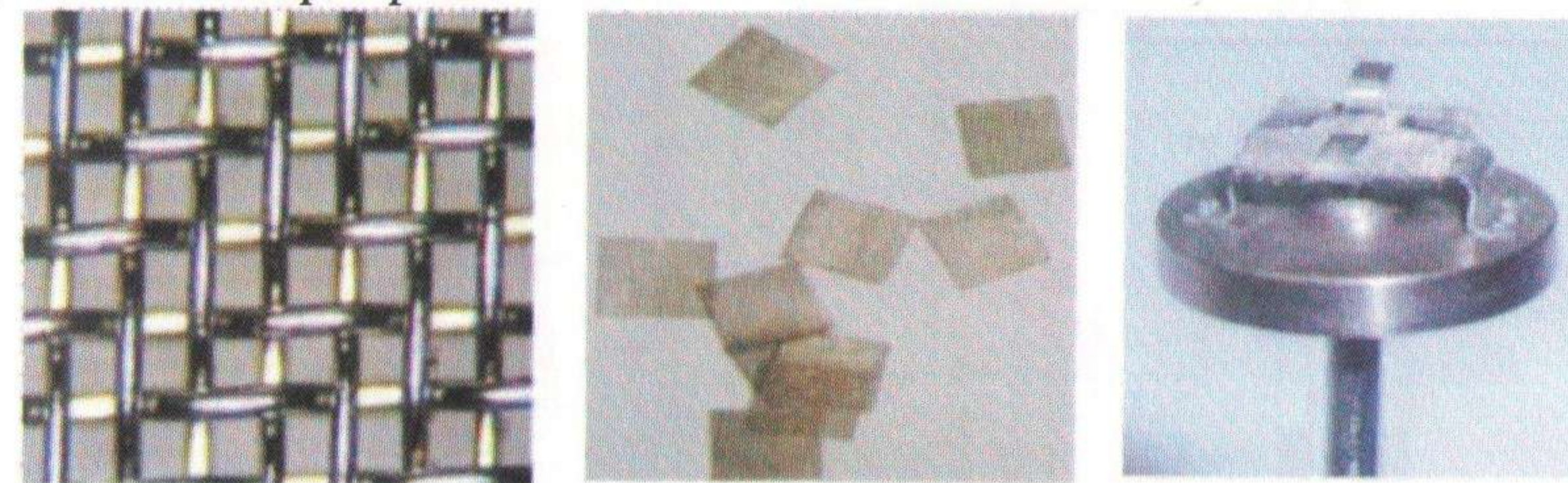
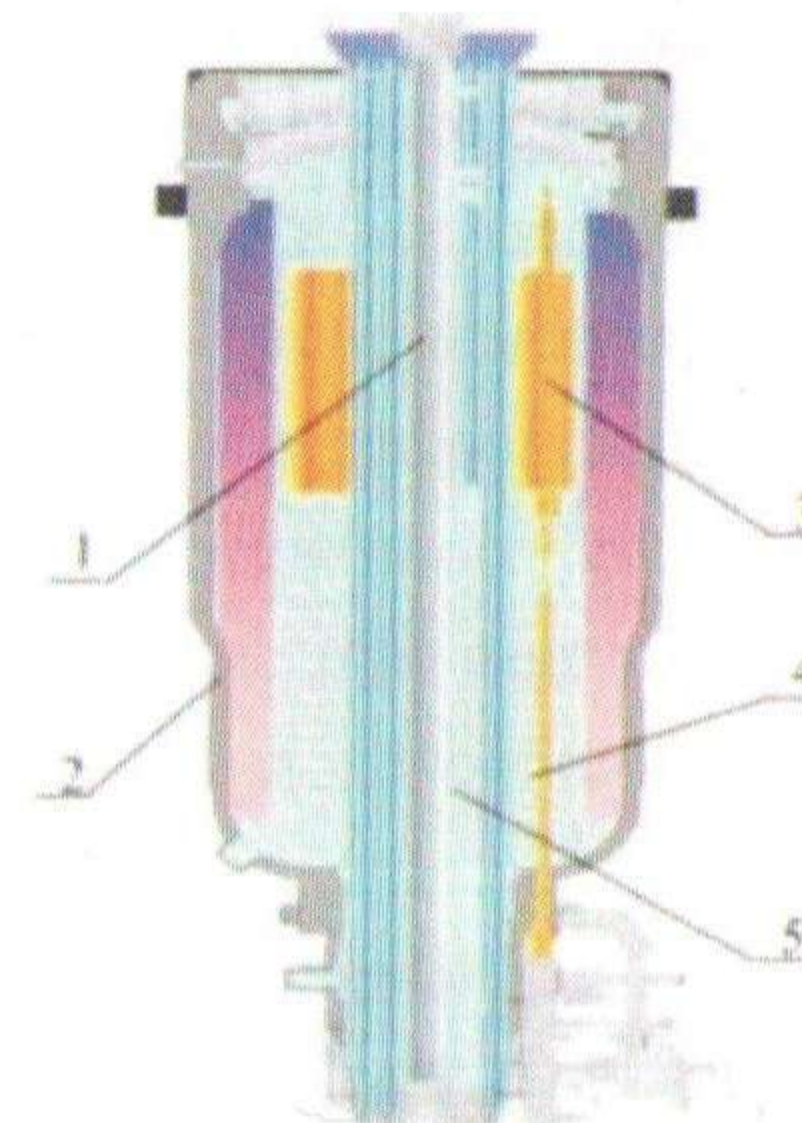


Рисунок 2 – Исследуемый образец литиевой КПС

Далее с этим образцом проводились реакторные эксперименты, на реакторе ИВГ.1М в г. Курчатов. На рисунке 3 приведены основные параметры реактора. А также поток нейтронов в реакторе на мощности 6 Мвт.



1 - центральный канал, 2 - корпус реактора, 3 - регулирующий барабан (РБ),  
4 - привод исполнительного механизма РБ, 5 - железо-водная защита.

Рисунок 3 – Реактор ИВГ.1М

Технические параметры:

Тепловая мощность	72 МВт
Эффективный размер АЗ	548 мм
Высота АЗ	4.6 кг
Плотность потока тепловых нейтронов в центре экспериментального канала	$3.5 \cdot 10^{14}$ н/см <sup>2</sup> •с

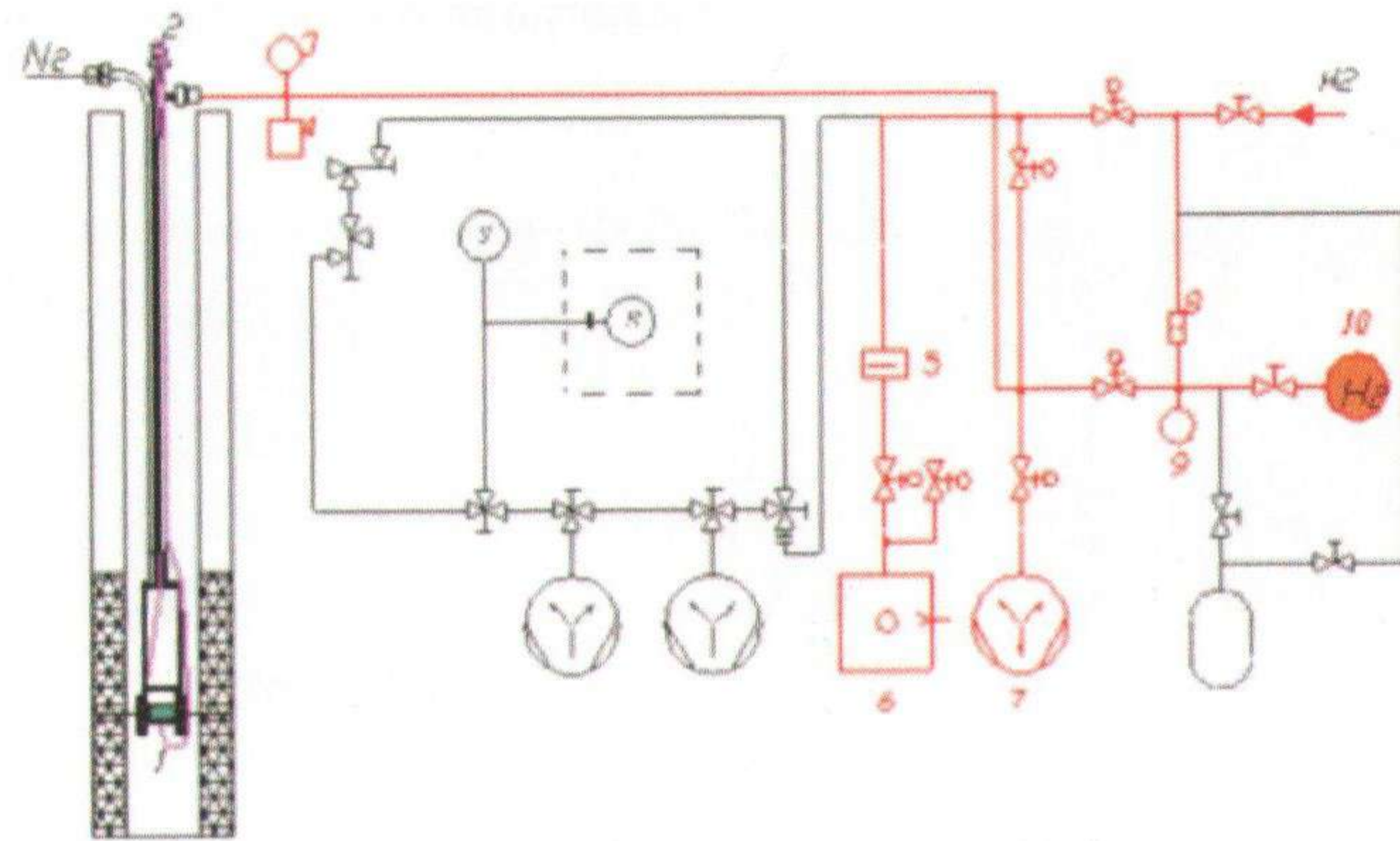
Исследования проводились на экспериментальном стенде ЛИАНА (рисунок 4), который расположен в реакторном зале ИВГ.1М, и позволяет проводить эксперименты по исследованию влияния реакторного излучения на процессы взаимодействия изотопов водорода с материалами ЯР и ТЯР. Условия проведения экспериментов приведены в таблице 1

Таблица 1

Условия проведения эксперимента

Диапазон температур:	от 200 до 350 С;
Давление водорода на входе:	от 80 до 400 Па;
Мощность реактора:	0,5; 1; и 2 МВт.





1 - центр активной зоны; 2 - магниторазрядный насос; 3 - вентиль; 4 - механический насос; 5 - ампула с образцом; 6 - датчик давления; 7 - масс-спектрометр; 8 - металлорукав; 9 - палладий-серебряный фильтр; 10 - азотная ловушка.

Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки ЛИАНА



Рисунок 5 – Расположение литиевой КПС в экспериментальной ампуле

На рисунке 5 показана исследовательская ампула с литиевой КПС, которая помещается в центре активной зоны реактора.

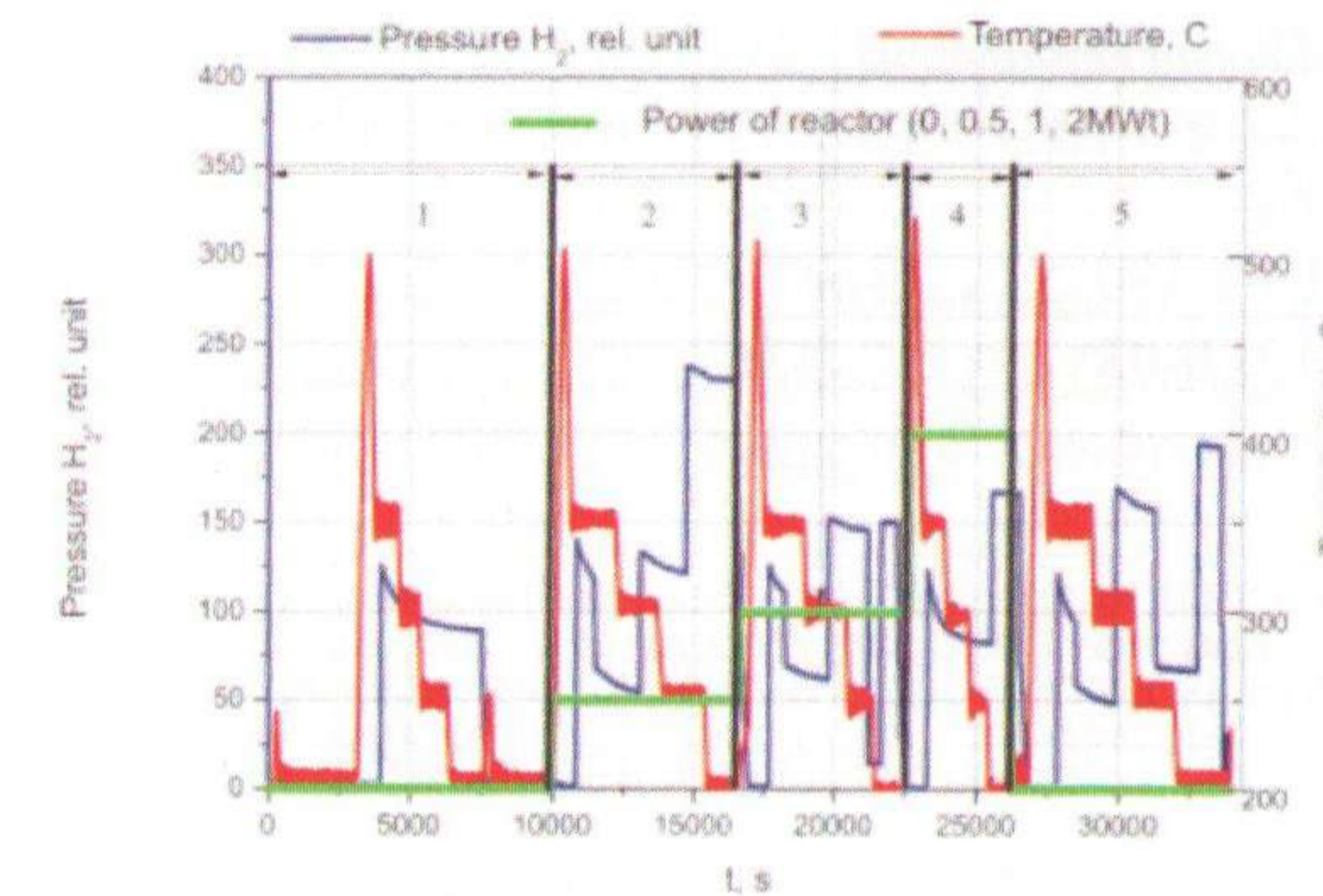


Рисунок 6 – Схема экспериментов

Суть метода заключалась в следующем: после того как в ампуле слитиевой КПС будут достигнуты все необходимые условия, устанавливается стационарная температура образца. Далее в камеру напускается известное количество газа, после чего следует насыщение образца из газовой фазы при выбранной температуре. На всем протяжении эксперимента ведется непрерывная регистрация изменения давления газа в ампуле.

Схема всего исследования приведена на диаграмме (рисунок 6). Первый этап – до-реакторные эксперименты, потом следуют реакторные эксперименты на различных мощностях и послереакторные эксперименты.

Для качественного описания полученных результатов были рассмотрены процессы происходящие при взаимодействии водорода с жидким литием. Это такие процессы как: абсорбция, десорбция, растворение, выход на поверхность атомов водорода.

Уравнение, описывающее концентрацию атомов на поверхности можно записать следующим образом:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = K_{att} \mu p S_{ef} - b N_0^2 - \chi N_0 + \eta C_0 \quad (1)$$

где  $K_{прил}$  - коэффициент прилипания водорода;  $m$  - газокинетический коэффициент, моль/с Па м<sup>2</sup>;  $p$  - давление атомов водорода, Па;  $S_{эф}$  - эффективная площадь взаимодействия, м<sup>2</sup>;  $b$  - константа скорости десорбции, м<sup>4</sup>/моль с;  $N_0$  - концентрации адсорбированных атомов на входной поверхности жидкого лития, моль/м<sup>2</sup>;  $c$  - константа скорости растворения, м<sup>3</sup>/с;  $\eta$  - константа скорости выхода атомов водорода из объема на поверхность, м<sup>3</sup>/с;  $C_0$  - количество растворенных атомов в объеме жидкого лития, моль/м<sup>3</sup>.

На основе полученной формулы был проведен рекуррентный расчет. Он состоял в последовательном расчете количества атомов водорода на поверхности, атомов лития и эффективной площади взаимодействия.

Как видно из графика 4 константа взаимодействия увеличивается пропорционально мощности излучения.

По данным температурным зависимостям были определены основные параметры взаимодействия, такие как энергии активации процессов, и предэкспоненты в аррениусовской зависимости. Результаты приведены в таблице 2.



Таблица 2. Рассчитанные параметры взаимодействия водорода в литиевой КПС.

Стадия эксперимента	$K_0$ , моль/(м <sup>2</sup> с Па)	$E_a$ , кДж/моль	Примечание
1	(1.3±0.7) E-03	47±3	Без облучения
2	(5.4±3) E-05	44±3	Реакторный эксперимент (2 МВт)

В результате проведенных исследований был зафиксирован эффект увеличения поглощения изотопов водорода литиевой КПС под действием реакторного облучения.

Впервые были получены температурные зависимости константы скорости взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС, при различных мощностях реактора. По полученным зависимостям были определены основные параметры взаимодействия, такие как энергии активации процессов, и предэкспоненты в аррениусовской зависимости, константы скорости взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС.

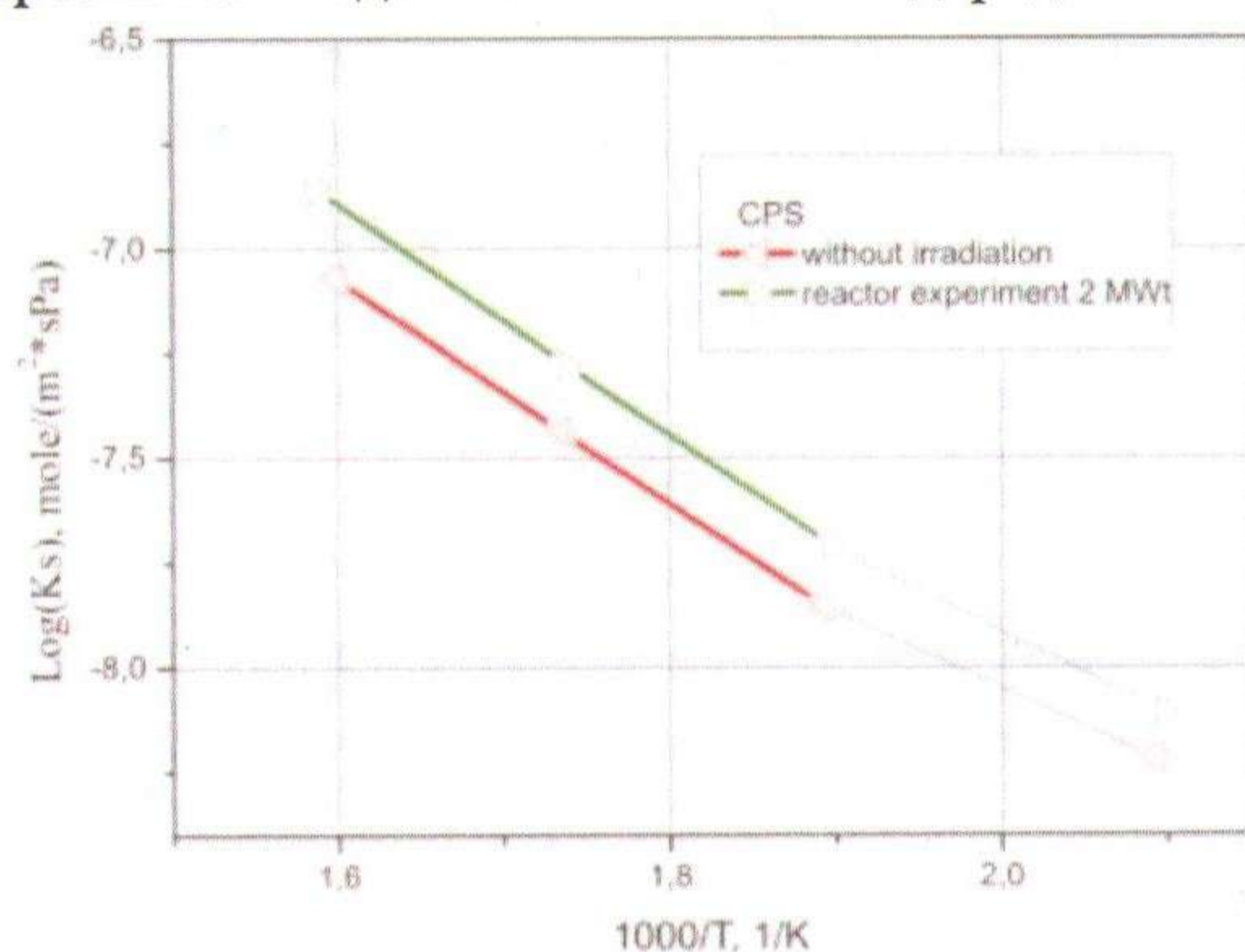


Рисунок 7 - Температурные зависимости константы взаимодействия изотопов водорода с литиевой КПС

Эффект влияния реакторного излучения связан с увеличением константы скорости растворения. Увеличение константы растворения вызвано ускорением диффузии водорода в литии.

В свою очередь, увеличение диффузии водорода связано с реакцией нейтрона с литием  $^6\text{Li}$  - благодаря большому выделению энергии в реакции.

Выделение значительной энергии приводит к локальным перегревам по объему жидкого лития и способствует его конвективному перемешиванию.

#### Список литературы

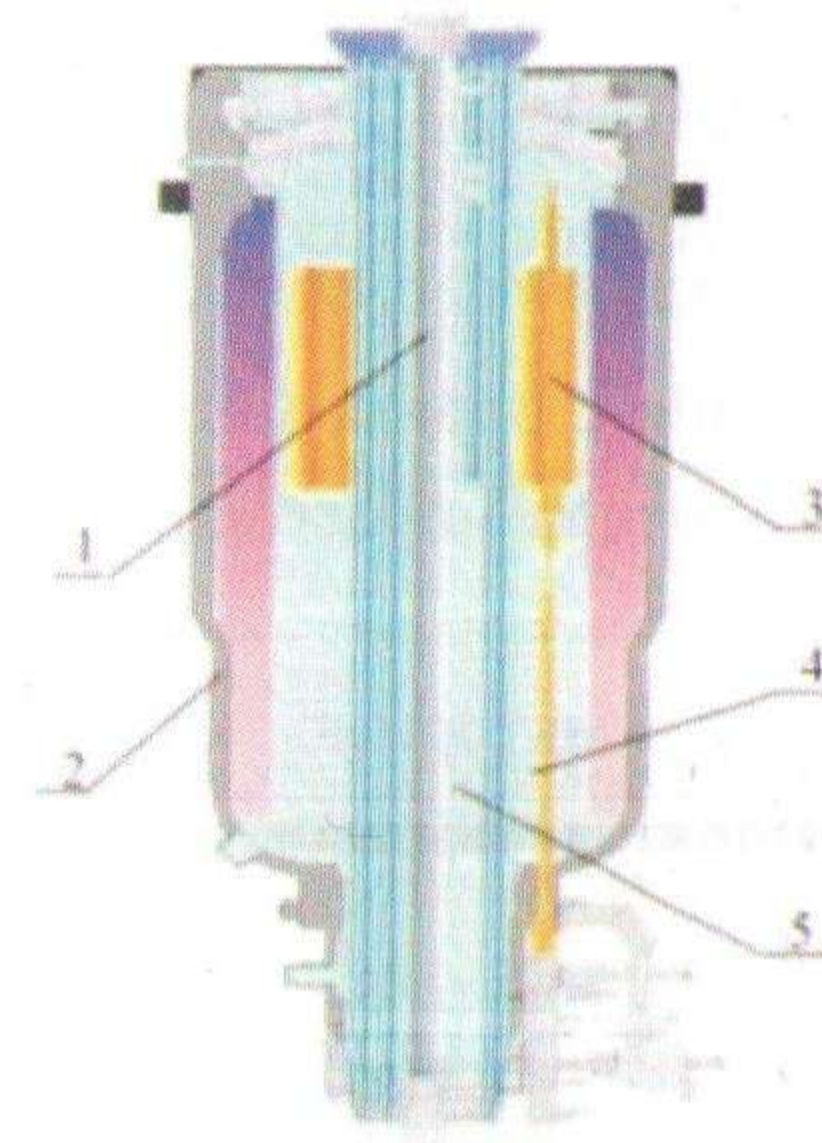
1. Azizov E.A., Dokuka V.N., Shestakov V., Shkolnik V., Tazibayeva I., Velikhov E. et al. Kazakhstan Tokamak for Material Testing. Plasma Devices and Operations. Vol.11(1). 2003, p. 39-55.
2. Tazhibayeva I., Lyublinski I., Vertkov A., Lazarev V., Azizov A., Mazzitelli G., Agostini P. Mock-up divertor of KTM tokamak on the base of lithium CPS. Las Vegas, CA, USA: Book of abstracts for 19 ANS Technical Meeting on technology of fusion energy, TOFE-19. 8-11 November 2010, p.93.

## ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ОБОСНОВАНИЕ ТРИТИЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Заурбекова Ж.А., Муканова А.О., Тажибаяева И.Л., Кенжин Е.А.,  
Кульсартов Т.В., Гордиенко Ю.Н., Тулубаев Е.Ю.  
ИАЭ НЯЦ РК, г.Курчатов, Казахстан

В процессе эксплуатации ядерно-энергетических установок под воздействием интенсивного излучения изменяются структура и физико-механические свойства конструкционных материалов, что приводит к изменению их рабочих характеристик. Поэтому для обоснования использования перспективных конструкционных материалов в ядерных и термоядерных установках обязательным условием является их испытание комплексном воздействии факторов эксплуатации.

В представляемой работе приводятся результаты серии экспериментов по исследованию взаимодействия изотопов водорода с некоторыми перспективными материалами ТЯР (вольфрам, бескислородная медь, сталь SS316IG (ITER Crade)) в условиях реакторного излучения.



Технические параметры:

Тепловая мощность	72 МВт
Эффективный размер АЗ	548 мм
Высота АЗ	4.6 кг
Плотность потока тепловых нейтронов в центре экспериментального канала	$3.5 \cdot 10^{14}$ н/см <sup>2</sup> •с

1 - центральный канал, 2 - корпус реактора, 3 - регулирующий барабан (РБ),  
4 - привод исполнительного механизма РБ, 5 - железо-водная защита.

Рисунок 1 - Реактор ИВГ.1М

Данные исследования проводились на реакторе ИВГ 1 М, расположенном в г.Курчатов, Казахстан, при разных мощностях реактора. Схема и основные параметры его приведены на рисунке 1.

В реакторном зале расположен экспериментальный стенд ЛИАНА (подробное описание установки приведено в работе [ ]). Внешний вид стенда, принципиальная схема и технические характеристики представлены на рисунке 2.

Интервал исследуемых температур образцов составляет  $30 \div 1500$  °С.



## 1 Экспериментальные исследования взаимодействия изотопов водорода с вольфрамом

В данной работе были исследованы образцы поликристаллического вольфрама, часть из которых была предварительно отожжена. Созданное для исследований ампульное устройство представлено на рисунке 3.

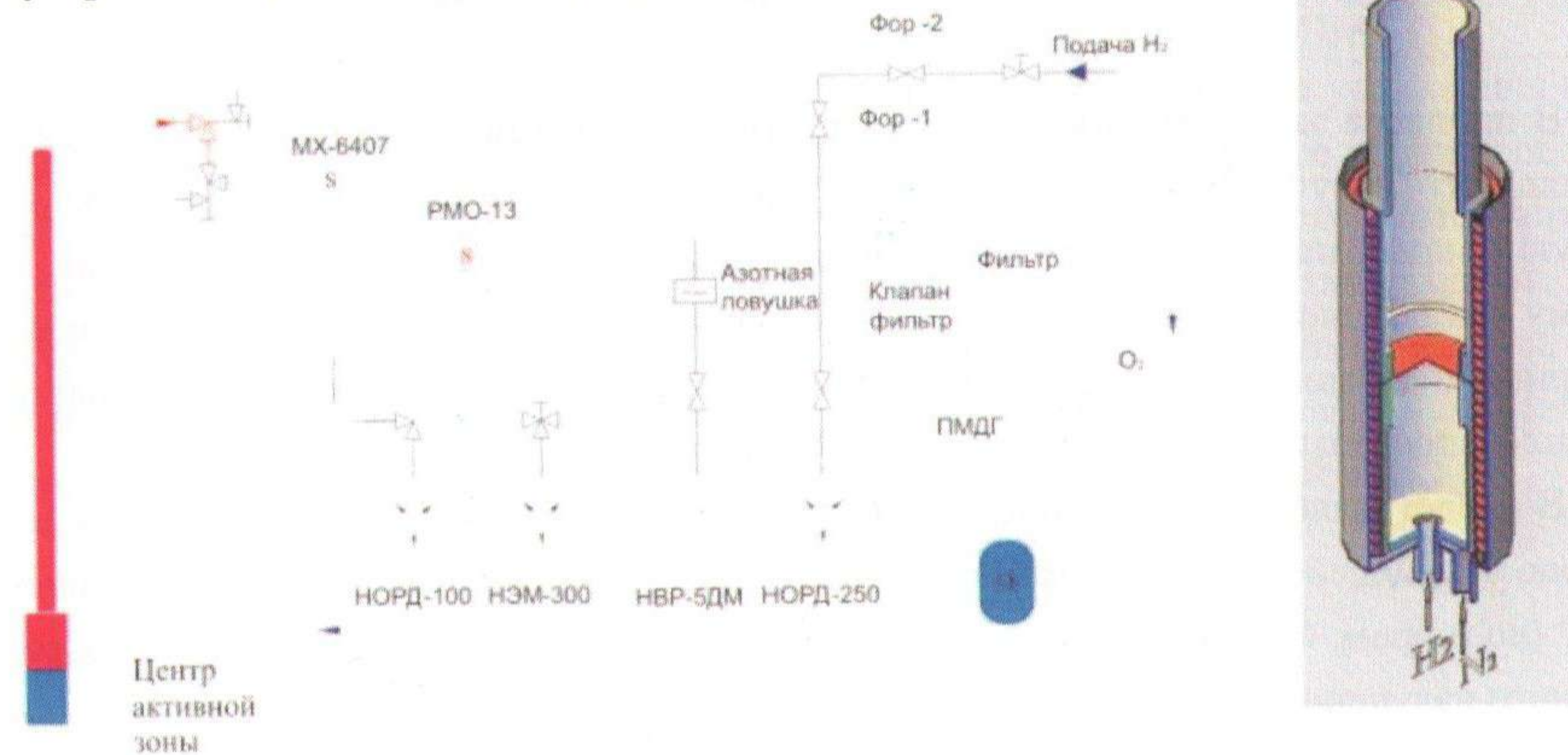


Рисунок 2 – Схема экспериментального стенда ЛИАНА

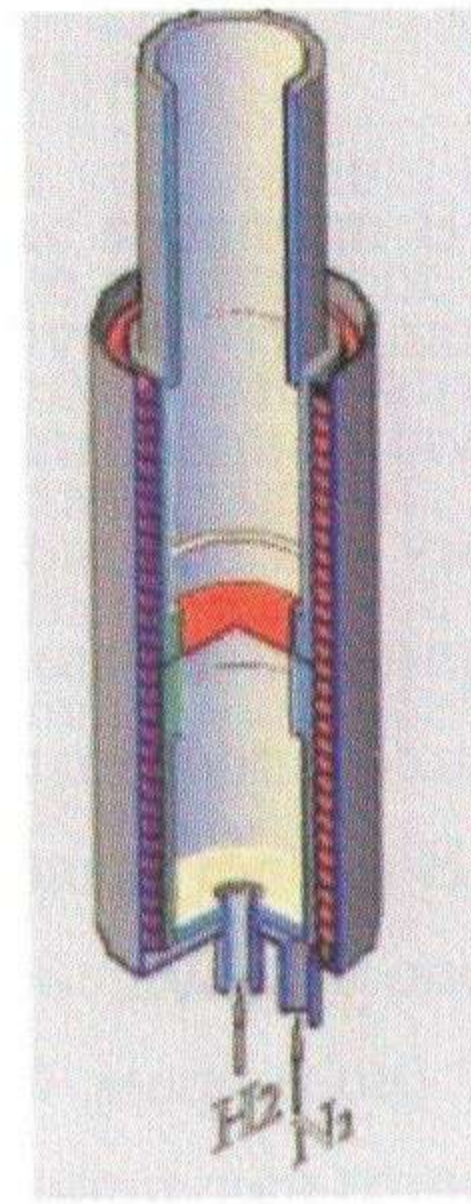


Рисунок 3 – Размещение образца в диффузионной ячейке

Последовательность эксперимента работы была следующей: образцы были помещены внутриканальную ампулу, а затем насыщены дейтерием при определенных температуре и давлении.

Эксперименты проводились в два этапа: внереакторные и реакторные эксперименты при различных мощностях реактора. После этого насыщенные образцы вольфрама были использованы для экспериментов по термодесорбции.

Первоначально в экспериментах был выявлен следующий эффект: при одинаковых условиях эксперимента в не отожженном вольфраме дейтерия растворяется гораздо больше, чем в отожженном образце (рисунок 4). В реакторных экспериментах было зарегистрировано влияние облучения на поглощение дейтерия в отожженном вольфраме. Это иллюстрируется на графике 5. Отожженные образцы, насыщенные при облучении поглощают больше дейтерия, чем образцы, насыщенные без облучения. Для неотожженных образцов (рисунок 6) максимальное количество поглощенного дейтерия получено для неотожженных образцов, насыщенных без облучения.

Наблюдаемые эффекты могут быть полностью вызваны поведением углерода в вольфраме, а именно: снижение сорбционной способности поверхности вольфрама при облучении связано с уменьшением концентрации углерода на поверхности вольфрама в связи с его радиационно-индуцированным растворением в образце вольфрама. В то же время растворенный углерод захвачен объемными дефектами, такими как границы зерен.

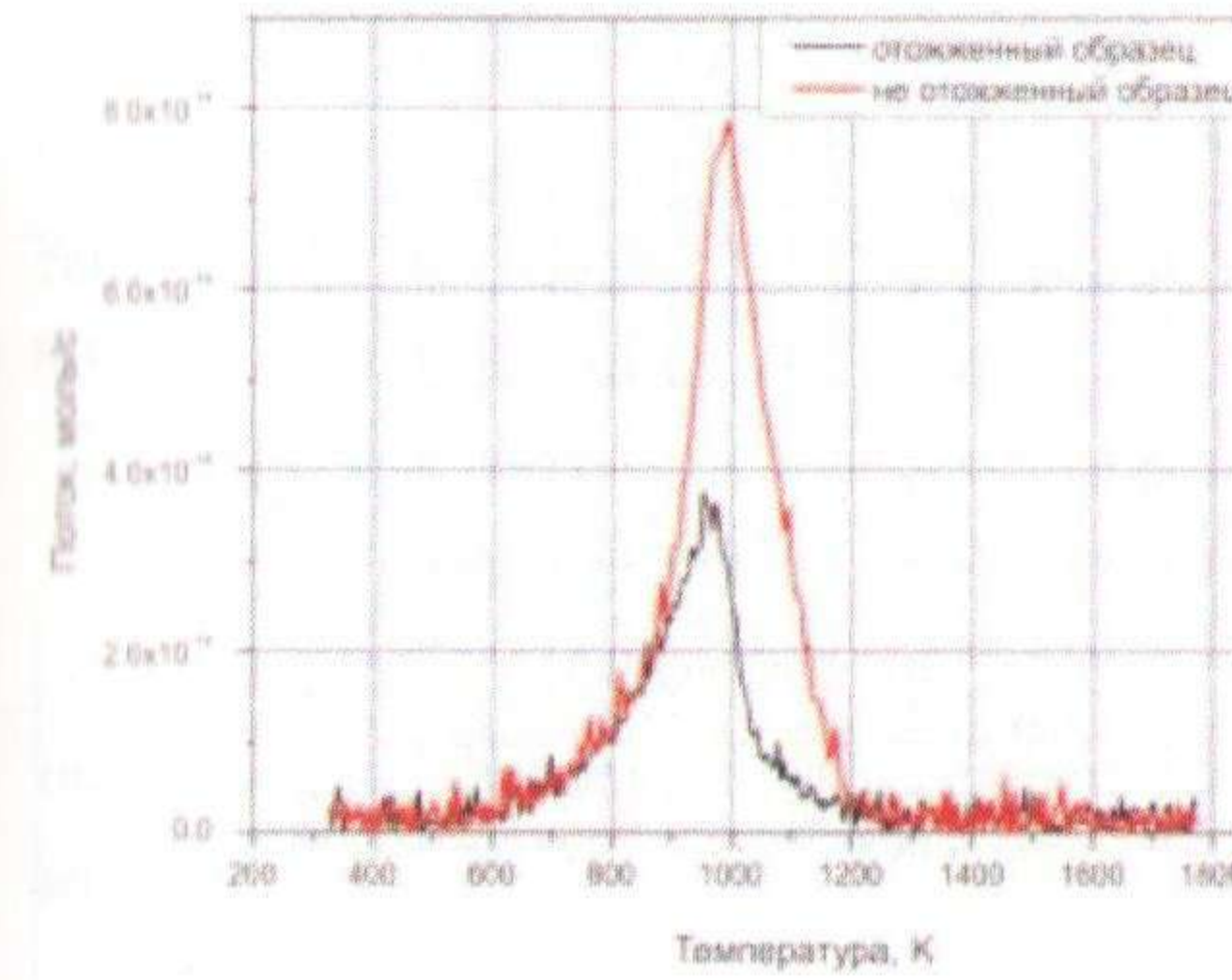


Рисунок 4 – Сравнение термодесорбционных спектров выделения молекул D2 из отожженного и неотожженного образца вольфрама, насыщенного при реакторном облучении (температура насыщения 1223 К, мощность реактора – 2 МВт)

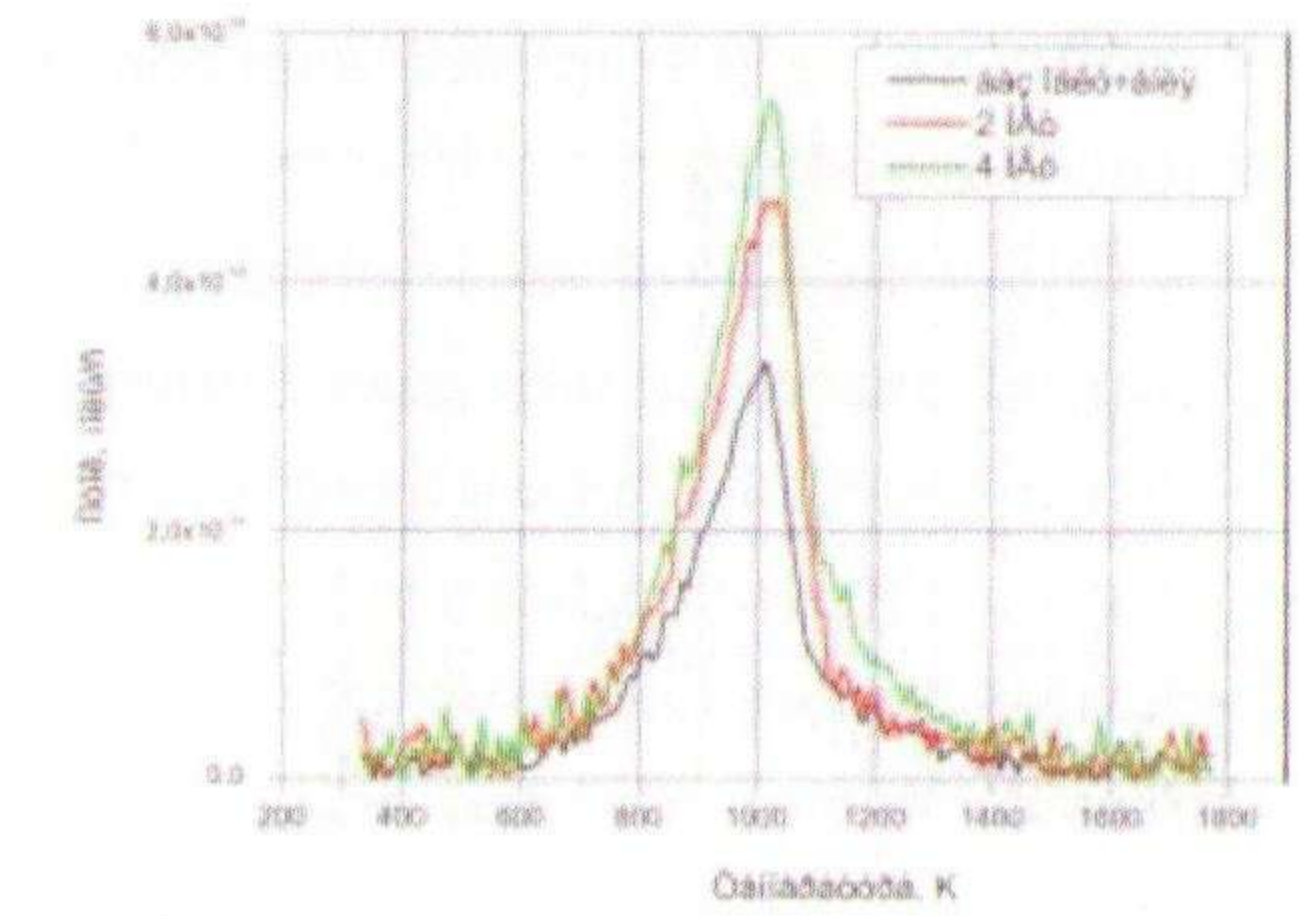


Рисунок 5. Термодесорбционные спектры выделения D2 из отожженных образцов вольфрама, насыщенного при реакторном облучении и без него (температура насыщения 1123 К)

Расчетные значения растворимости дейтерия в вольфраме при различных условиях насыщения приведены на графике (рисунок 7). Очевидно, что максимальное значение растворимости, получено для неотожженных образцов, насыщенных без реакторного облучения.

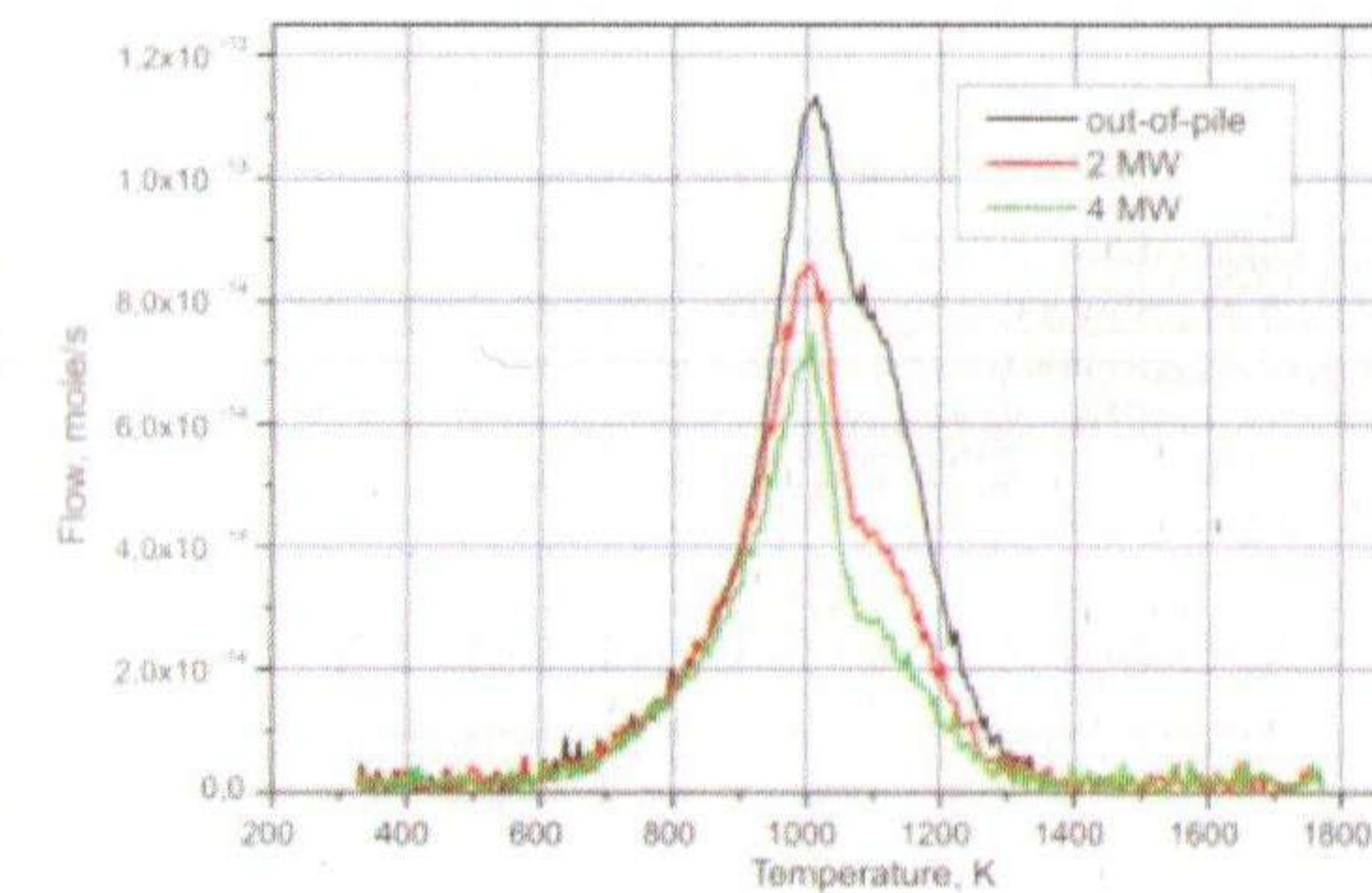


Рисунок 6 – Термодесорбционные спектры выделения D2 из не-отожженных образцов вольфрама, насыщенного при разных нейтронных потоках (температура насыщения 950 °С)

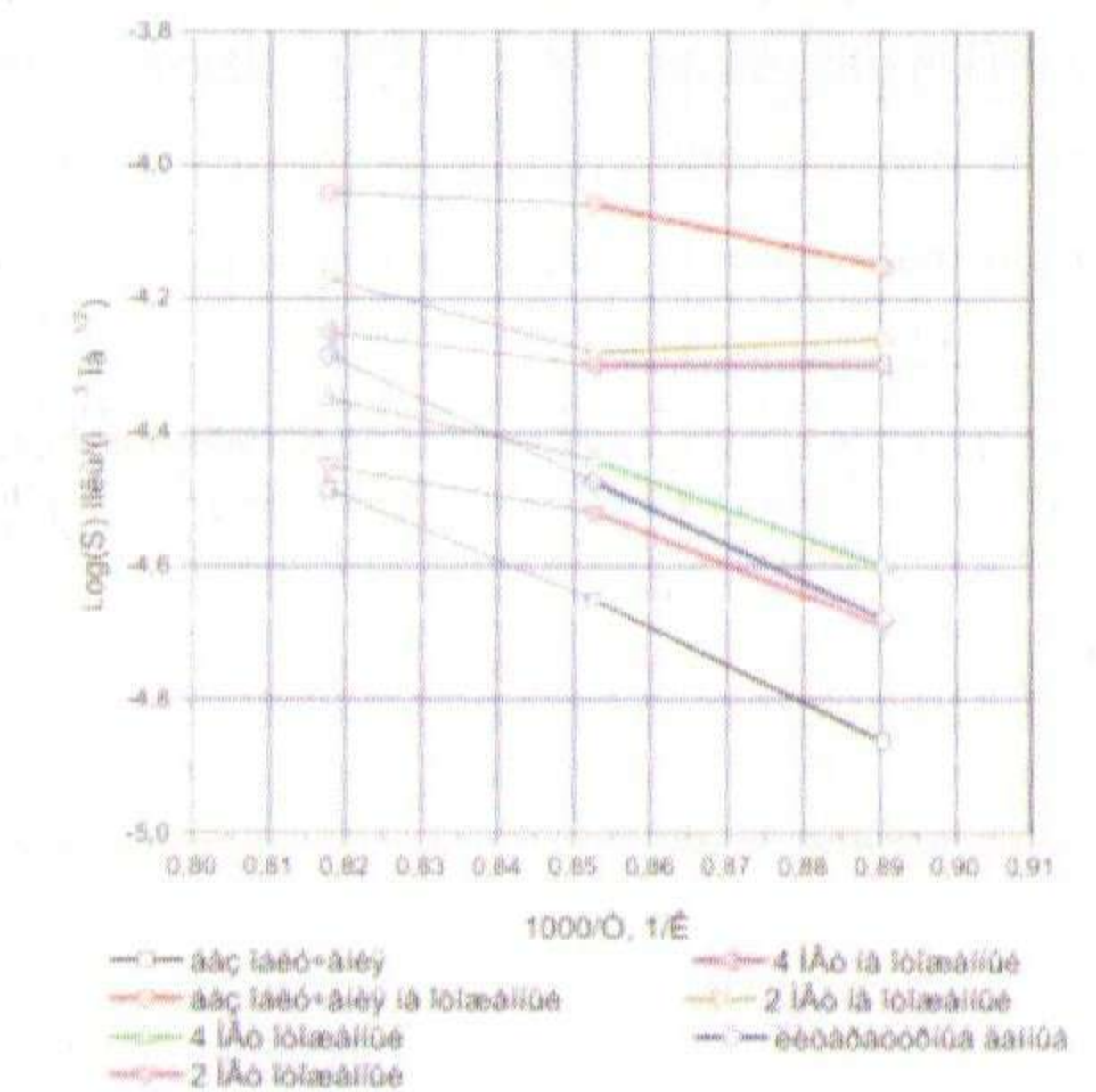


Рисунок 7 - Температурная зависимость растворимости дейтерия в вольфраме

## 2 Экспериментальные исследования взаимодействия изотопов водорода с медью

Следующая часть отчета посвящена исследованиям влияния облучения на параме-



тры взаимодействия изотопов водорода с медью. Рассмотрены образцы мембраны из бескислородной меди.

Эксперимент проводился методом водородопроницаемости. Условия экспериментов:

- рассматриваемый интервал температур 300 ÷ 500 °С;
- остаточное давление в измерительном канале 10-4 ÷ 10-6 Па;
- входное давление дейтерия 103 Па;
- мощность реактора 0,5 и 1,0 МВт.

Процесс проникновения изотопов водорода через медь описывался с помощью диффузионной модели в дефектных средах - по моделям Макнабб-Фостера, с учетом ловушек ограниченной емкости [ ]:

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - k_1 \left(1 - \frac{m}{m^*}\right) c + k_2 m, \\ \frac{\partial m}{\partial t} = k_1 \left(1 - \frac{m}{m^*}\right) c - k_2 m, \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  – концентрация диффузанта в ловушках,  $m^*$ -концентрация ловушек,  $k_1, k_2$  – скорости захвата и высвобождения диффузанта в (из) ловушек.

В результате проведенных экспериментов были получены кинетики проницаемости дейтерия в диапазоне температур образца от 350 до 500 °С. Влияние облучения на кинетику проникновения дейтерия через медный образец было зафиксировано при температурах ниже 450°С. Оно заключалось в ускорении диффузии дейтерия сквозь медь и очень незначительном увеличении стационарного проникающего потока дейтерия, причем с уменьшением температуры эти эффекты становились все более заметными.

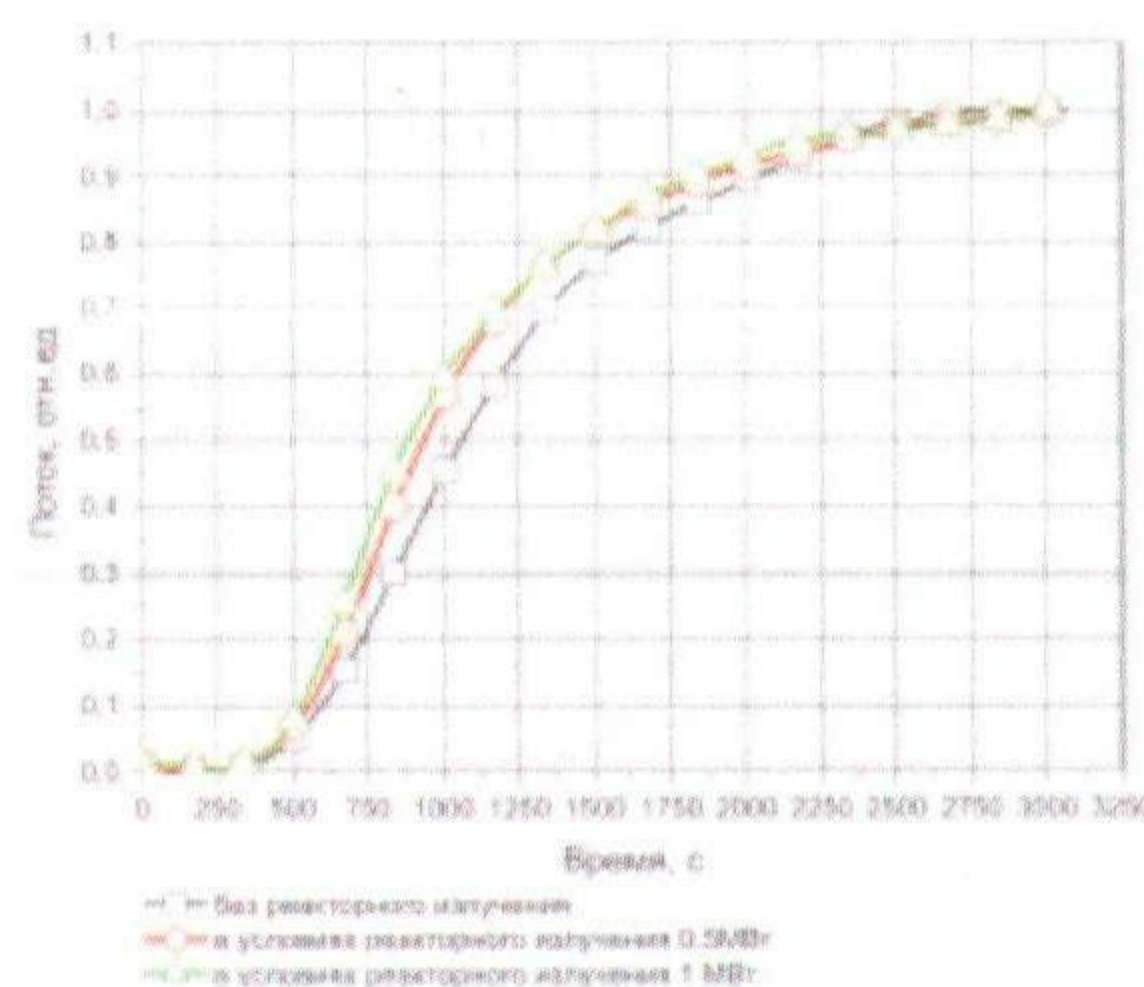


Рисунок 8 – Нормированная на максимальный поток кинетика проникновения дейтерия в экспериментах по ВП, на температуре 623 К

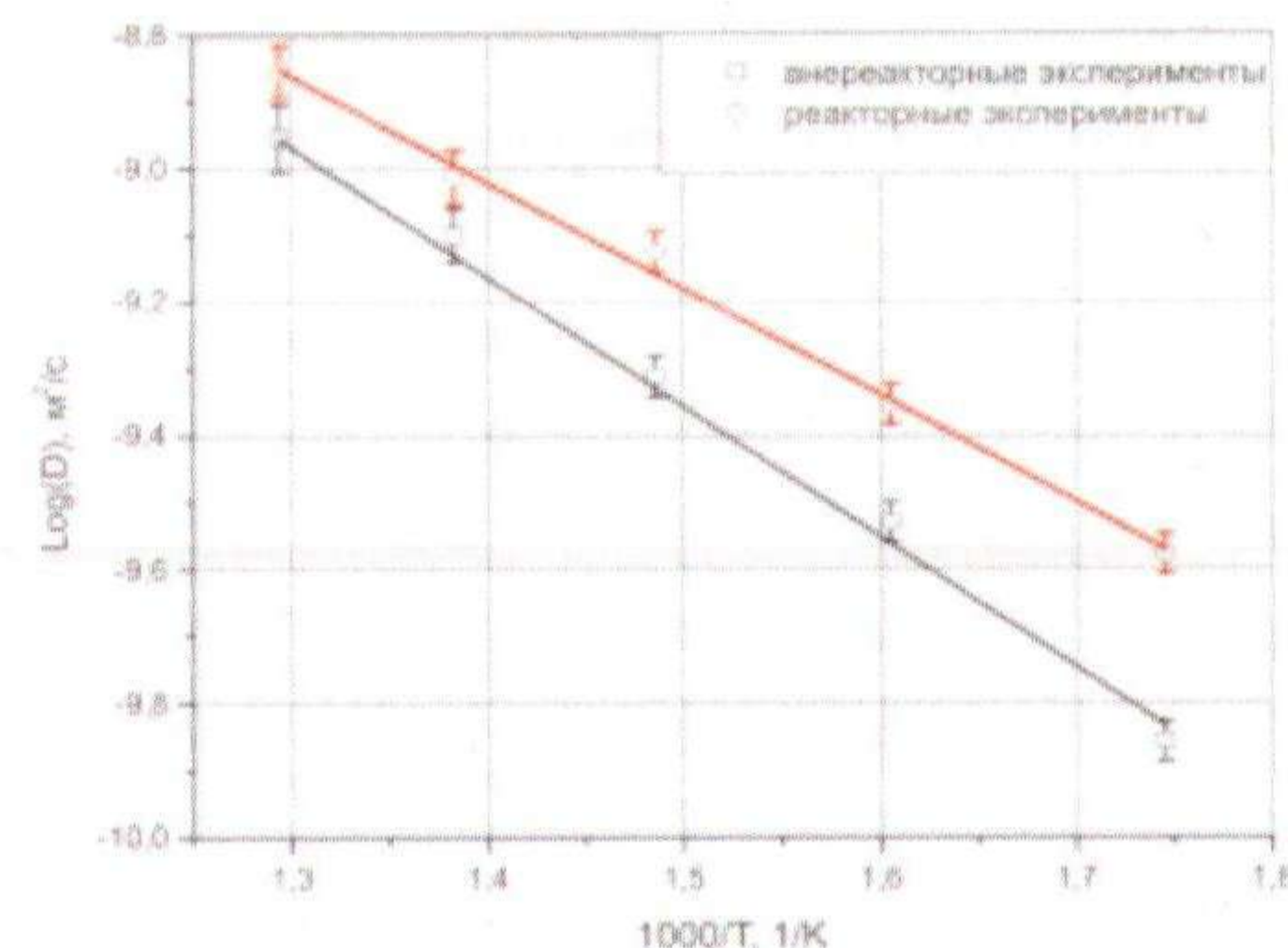


Рисунок 9 - Температурные зависимости коэффициента диффузии дейтерия в меди, рассчитанные по модели Мак-Набба-Фостера для различных этапов эксперимента.

Зависимости Аррениуса коэффициента диффузии дейтерия в меди, рассчитанные с помощью модели Макнабба-Фостера для различных этапов эксперимента, представлены на графике 9. Видно, что диффузия изотопов водорода в условиях облучения больше, чем без него.

Таблица 1. Параметры коэффициентов диффузии, проницаемости, растворимости дейтерия в меди, полученные в экспериментах

Этап эксперимента	Вне реакторные эксперименты	Реакторные эксперименты (0,5МВт)	Реакторные эксперименты (1МВт)
$D_0, \text{ м}^2/\text{с}$	$(3,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-7}$	$(1,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-7}$	$(2,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-7}$
$E_D, \text{ кДж/моль}$	$38 \pm 2$	$30 \pm 2$	$29 \pm 2$
$E_{k1}, \text{ кДж/моль}$	$44 \pm 3$	$38 \pm 3$	$38 \pm 3$
$E_{k2}, \text{ кДж/моль}$	$69 \pm 3$	$60 \pm 3$	$59 \pm 3$
$S_0, \text{ моль/м}^2 \cdot \text{Па}^{0,5}$	$(2,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$	$(1,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-2}$	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-2}$
$E_S, \text{ кДж/моль}$	$27 \pm 2$	$35 \pm 2$	$36 \pm 2$
$P_0, \text{ моль/м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}^{0,5}$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^{-5}$		
$E_P, \text{ кДж/моль}$	$65 \pm 4$		

Таким образом, было зарегистрировано влияние облучения на кинетики проникновения дейтерия через медный образец при температурах ниже 450 °С. Эффект заключается в ускорении диффузии дейтерия через медь и в незначительном росте в стационарных потоках проникновения дейтерия.

### 3 Экспериментальные исследования взаимодействия изотопов водорода со сталью

Исследования образцов аустенитной нержавеющей стали марки SS316 ITER Grade были проведены также методом водородопроницаемости. Эта марка стали была разработана специально для вакуумной камеры ИТЭР.

Условия проведения экспериментов по ВП:

- рассматриваемый интервал температур 350 ÷ 550 °С;
- остаточное давление 10-4 ÷ 10-6 Па;
- входное давление дейтерия 105 Па;
- мощность реактора 1,0 и 2,0 МВт

В результате проведенных экспериментов были получены кинетики проникновения дейтерия через образец, на разных этапах эксперимента [ ].

Эксперименты показали, что реакторное облучение значительно влияет на процесс проникновения газа при температурах 350, 400 °С, как видно из представленных графиков. Это приводит к уменьшению потока дейтерия и к увеличению времени достижения стационарного потока через образец.

Соответственно, это означает, что есть заметное снижение эффективных коэффициентов диффузии дейтерия и проницаемости, это видно из графиков 10, 11. По результатам экспериментов были определены основные параметры ВП через нержавеющую сталь, которые приведены в таблице 2.



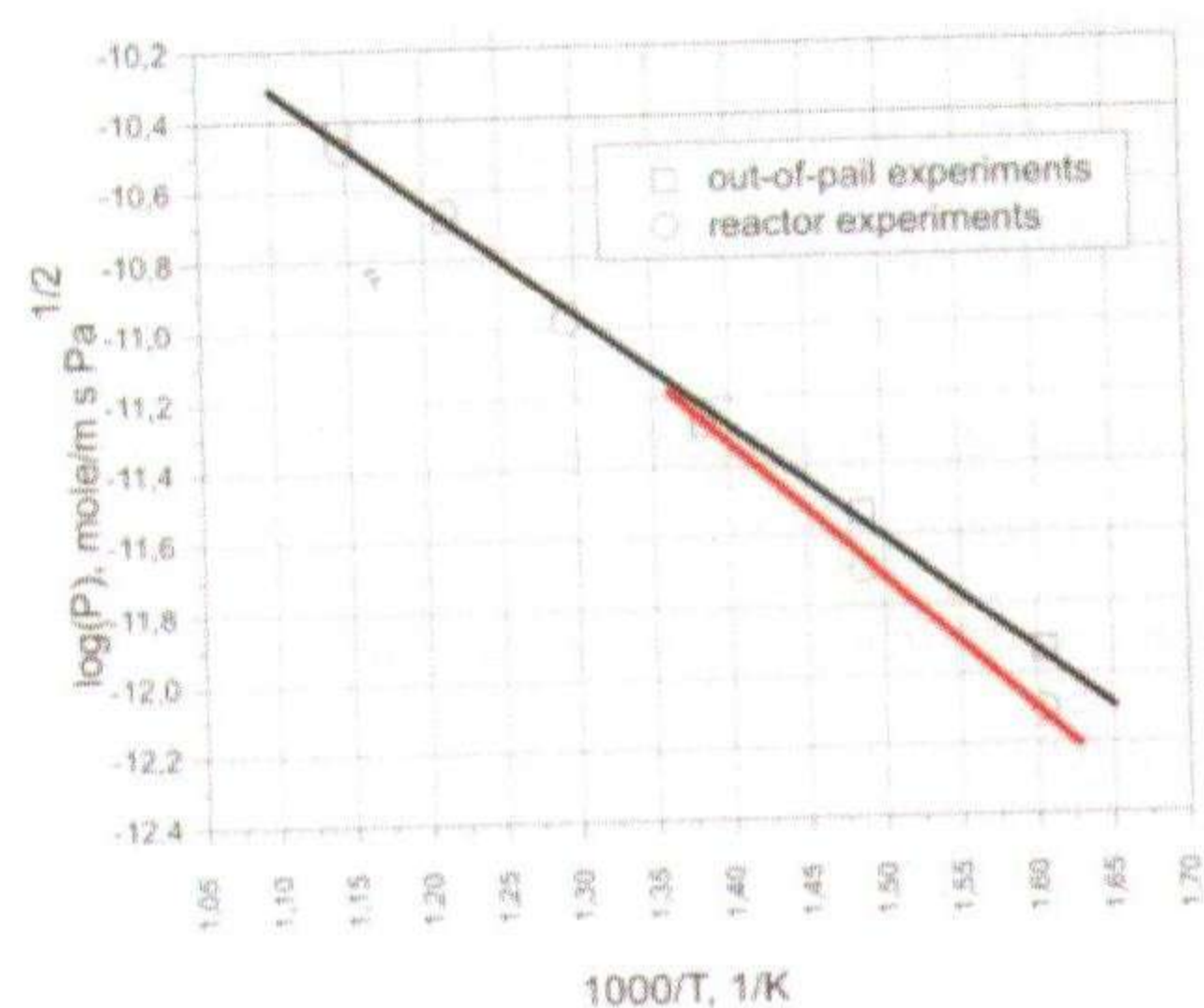


Рисунок 10 - Температурные зависимости константы проницаемости водорода и дейтерия в стали SS316 IG

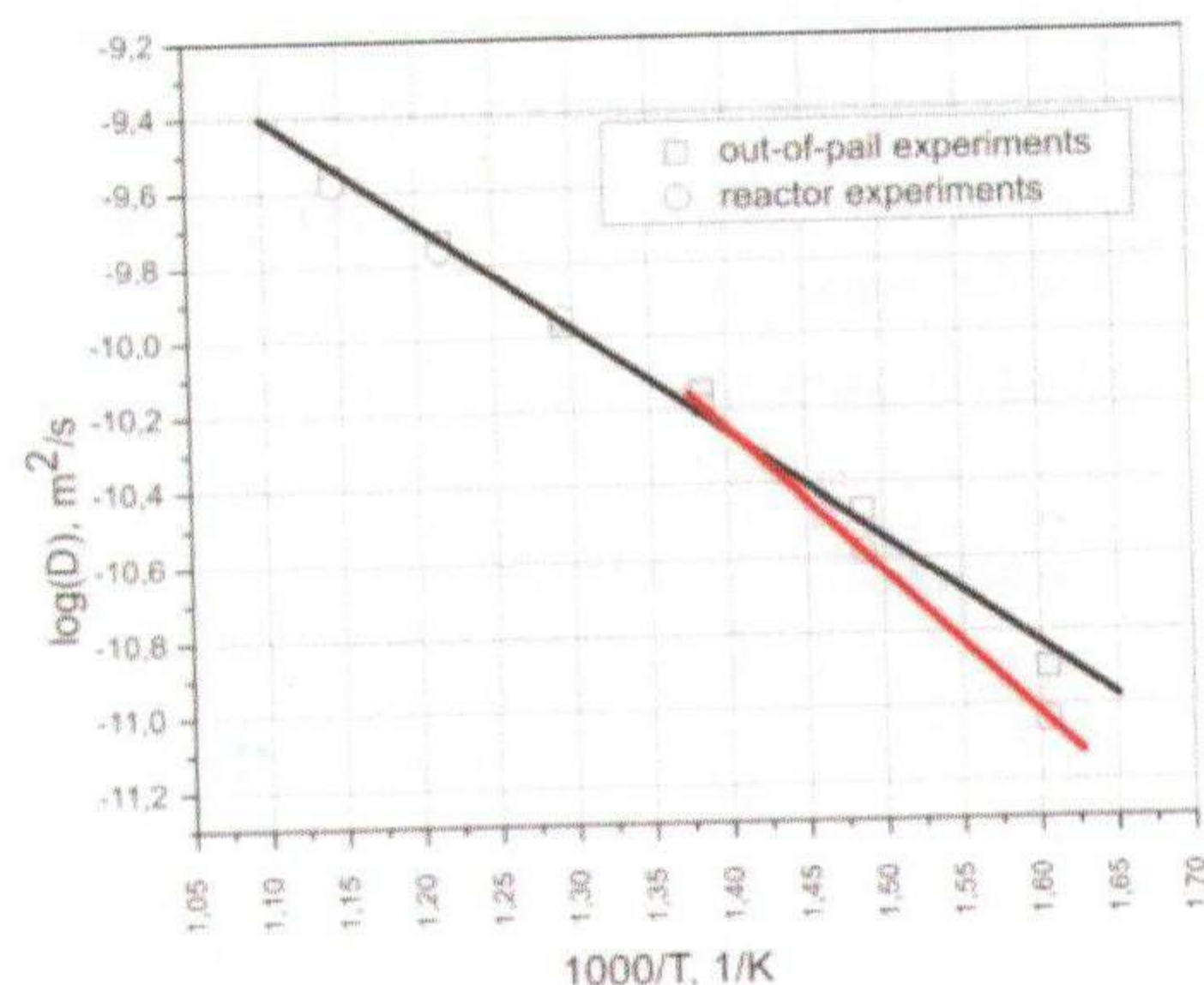


Рисунок 11 - Температурные зависимости коэффициентов диффузии водорода и дейтерия в стали SS316 IG

Наблюдаемые эффекты могут быть объяснены наличием точечных изолированных дефектов - так называемых ловушек, которые равномерно распределены по объему образца. Атом диффузанта, мигрирующий через вещество в ходе случайного блуждания, захватывается дефектом и затем, после некоторого времени пребывания в нем, вновь выделяется в диффузионную зону. Ловушки для водорода, в свою очередь, возникают за счет радиационно-стимулированной сегрегации примесей на границы зерен.

Таблица 2. Параметры ВП нержавеющей стали SS316L(N)-IG, полученные в экспериментах

	Внереакторные	Реакторные	Литературные данные
$D_0, \text{ м}^2/\text{с}$	$(5,9 \pm 0,5) \cdot 10^{-7}$	$(1,3 \pm 0,1) \cdot 10^{-5}$	$0,6 \cdot 10^{-6}$
$E_D, \text{ кДж/моль}$	$55 \pm 5$	$75 \pm 7$	45
$P_0, \text{ моль} / (\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Па}^{1/2})$	$(3 \pm 0,5) \cdot 10^{-7}$	$(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
$E_P, \text{ кДж/моль}$	$66 \pm 7$	$72 \pm 7$	64
$S_0, \text{ моль/м}^3$	$(0,5 \pm 0,15)$	$(0,1 \pm 0,02)$	6,8
$E_S, \text{ кДж/моль}$	$11 \pm 7$	$3 \pm 7$	20

Таким образом, влияние реакторного облучения на взаимодействие изотопов водорода со сталью наблюдается при температурах 350 - 400C и состоит в уменьшении потока диффузанта и увеличении времени достижения установившегося потока из образца.

Экспериментальные исследования, проведенные нами, позволили впервые оценить основные параметры взаимодействия изотопов водорода с вольфрамом, медью и нержавеющей сталью. Были рассчитаны Эффективные коэффициенты диффузии, эффективные константы проницаемости и растворимости. Зависимости Аррениуса были использованы для получения соответствующих энергий активации диффузии, проницаемости и растворимости.

Во всех реакторных экспериментах мы зарегистрировали влияние облучения на из-

меряемые параметры взаимодействия изотопов водорода с исследуемыми материалами. В любом случае факторы, которые влияют на изменение параметров, имеют различную природу и вызываются различными процессами, которые являются специфическими для исследуемых материалов в этих условиях.

Результаты проведенных исследований могут позволить сделать оценки накопления и миграции трития в элементах конструкции ТЯР при их реальной работе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G FEDERICI, "Plasma-material interactions in current tokamaks and their implications for next step fusion reactors", "Nuclear Fusion", № 41, pp. 1967-2137, (2001).
2. A. MC Nabb and K. Foster, "A new analysis of the diffusion of hydrogen in iron and ferrite", "Trans. of the metallic Soc.", Vol. 227, pp. 618 - 627( 1963).
3. Т.В. КУЛЬСАРТОВ, "Исследование влияния реакторного излучения на процесс проникновения изотопов водорода сквозь нержавеющую сталь SS316IG", "Вопросы Атомной Науки и Техники", 2 (2008).



## ИЗМЕНЕНИЕ СПОСОБА ОЧИСТКИ ПЕЧНЫХ ГАЗОВ ОТ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ЗАКИСИ-ОКСИ ПРИРОДНОГО УРАНА

*Нуржанов К.Е., Мауленов Д.Е., Жаманов К.*

*Таукентское горно-химическое предприятие, «Казатомпром», Казахстан*

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

- Экстракция урана из товарного регенерата;
- Промывка экстракта тех.водой;
- Твердофазная рекстракция урана карбонатными растворами;
- Репульпация кристаллов аммоний уранилтрикарбоната (АУТК) свежими растворами карбоната аммония+керосином;
- Прокалка кристаллов АУТК до закиси-оксида урана.

Экстракционная переработка нитратно-серноокислого регенерата с содержанием урана 30-35 г/л и нитрат-иона 15-25 г/л осуществляется в двух последовательных 3-х ступенчатых экстракторах типа смеситель-отстойник. В процессе экстракций попутно с ураном интенсивно экстрагируется нитрат-ион.

При контакте насыщенной органической фазы (экстракт) с технической водой, примеси (в том числе нитрат-ион) переходят в водный раствор в соответствии со своим коэффициентом распределения.

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

В результате работы аффинажного производства установлено влияние нитрат-иона на процесс получения закиси-оксида урана. Чем выше содержание нитрат-иона в оборотном карбонатном растворе, тем меньше размеры кристаллов АУТК, образующиеся в процессе рекстракции. В последствии при прокалке кристаллов АУТК образуется значительная часть закиси-оксида урана с размерами 5 микрон. Это приводит к тому, что в газовой фазе увеличивается количество закиси-оксида урана в виде пыли, которая оседает в системах вентиляции и аппаратах газоочистки.

До внедрения данного предложения очистка печных газов от мелкодисперсной закиси-оксида природного урана осуществлялась по схеме: Печь ВГТП-8 – циклон – полный скруббер – пенный скруббер – АСГБ абсорбер – выброс в атмосферу. Мелкодисперсная закись-окись, содержащаяся в печных газах, осаждалась в указанных аппа-

ратах, и периодически, один раз в месяц во время остановки цеха вручную удалялась их них. После удаления и промывки, полученные осадки вручную добавлялись в приемное корыто БОНов, вместе с кристаллами АУТК, фильтровались и отправлялись на вторичную прокалку в печь. На все это требовалась дополнительная электроэнергия, время, ручной труд и неизбежные потери продукта.

Авторы предложили применить новое оборудование – высокотемпературный фильтр ФКИ-45Т с фильтрующими элементами из нитевидной керамики, выдерживающей температуру газа до 500<sup>о</sup>С. Установить данный фильтр между циклоном и полным скруббером. Для обеспечения необходимого разрежения в фильтре и на печи один вентилятор установить непосредственно за фильтром. Разгрузку уловленной мелкодисперсной закиси-оксида через шнековый питатель направить в бункер готовой продукции.

Внедрение данного предложения позволило исключить затраты ручного труда по очистке оборудования, потери при затаривании и промывке, а также избежать повторной фильтрации и прокалки мелкодисперсной закиси-оксида. Тем самым повысить сквозной коэффициент извлечения урана из товарного десорбата в закис-окис урана.

После внедрения установки ФКИ-45Т снизилось количество вредных выбросов в атмосферу, а так же, оборудование, ранее предназначенное для улавливания мелкодисперсной закиси-оксида, можно будет исключить из технологической цепочки и использовать для других целей.



## РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА, НА ПРИМЕРЕ ВВР-К

*Милиц О.С., Севериненко М.А., Глуценко Г.М., Артемова В.А., Николаев И.М.  
Институт ядерной физики НЯЦ РК, г. Алматы, Казахстан*

Любая ядерная установка является источником поступления во внешнюю среду радиоактивных отходов в виде газоаerosольных выбросов, жидких сбросов и твердых отходов, образующихся в результате процессов деления ядер вещества топлива реактора и активации нейтронами различных материалов, присутствующих в активной зоне. Попадая во внешнюю среду отходы ядерной установки, могут обуславливать радиоактивное загрязнение воздуха, воды, почвы, растительности и вносить вклад в дозовую нагрузку на население, находящееся в зоне расположения предприятия.

Для обеспечения радиационной безопасности на ядерной установке проводится производственный радиационный контроль, осуществляемый с целью соблюдения допустимых радиационных норм содержания техногенных радионуклидов в выбросах и сбросах предприятия и обеспечения радиационной безопасности персонала. При этом используются экспрессные методы анализа, позволяющие получить информацию о выбросах радионуклидов на уровне предельно-допустимых величин.

При сопоставлении показателей качества окружающей среды только с величинами принятых нормативов можно упустить из виду ситуацию, когда длительное воздействие радиоактивных веществ на объекты окружающей среды в концентрациях, не превышающих нормативных значений, приведет к тому, что спустя время состояние окружающей среды перестанет быть безопасным для человека. В качестве примера можно привести ситуацию, когда в результате многолетних выбросов какого-либо радионуклида происходит его накопление в почве и возникает риск дальнейшей миграции с грунтовыми водами в нижележащие горизонты, используемые для питьевого водоснабжения.

С целью своевременного выявления и прогноза нежелательных последствий влияния ядерной установки на окружающую среду, разрабатывается система Государственного радиационного мониторинга исследовательских ядерных установок. Задачами такого мониторинга является наблюдение за развитием радиационной ситуации в зоне наблюдения ядерной установки, предупреждение и предотвращение неблагоприятных ситуаций радиозоологического характера. Функционирование государственного радиационного мониторинга предусматривает получение открытой и своевременной информации о радиационном состоянии окружающей среды в зоне наблюдения ядерной установки, что является весьма важным фактором для предотвращения возникновения радиофобии у населения, проживающего на этой территории

### Задачи и этапы исследования

При организации системы мониторинга в первую очередь должны быть определены

и изучены все антропогенные факторы влияния ядерной установки на окружающую среду, на основе которых устанавливаются определяемые при мониторинге параметры и пути формирования радиационной ситуации в зоне расположения реактора.

При эксплуатации ядерной установки в процессе деления тяжелых ядер и активации нейтронами различных материалов в активной зоне реактора образуется большое число радионуклидов, состав и количество которых определяется типом и мощностью реакторов и устройством очистных систем. Радионуклидный состав выбросов/сбросов зависит от типа реактора, его мощности, вида теплоносителя и т.д. Основной состав выбросов и сбросов от ядерных установок различного типа и оценка ожидаемой коллективной дозы приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Выбросы и сбросы от ядерных установок различного типа. Оценка ожидаемой коллективной дозы, чел-Зв/(ГВт-год)

Параметры оценки	PWR	BWR	GCR	HWR	РБМК (LWCR)	БН (FBR)
<b>Выбросы:</b>						
ИРГ	0,01	0,075	0,024	0,023	0,24	0,018
<sup>3</sup> H	0,03	0,028	0,099	5,3	0,015	1,1
<sup>14</sup> C	0,22	0,81	0,97	8,6	2,3	0,22
<sup>131</sup> I	0,0003	0,0009	0,0007	0,0001	0,0069	0,0005
ДЖН ( <sup>51</sup> Cr, <sup>54</sup> Mn, <sup>59</sup> Fe, <sup>60</sup> Co, <sup>89,90</sup> Sr, <sup>134,137</sup> Cs)	0,011	0,049	0,0038	0,0011	0,065	0,001
<b>Сбросы:</b>						
<sup>3</sup> H	0,02	0,0006	0,097	0,3	0,005	0,0023
Другие нуклиды ( <sup>54</sup> Mn, <sup>60</sup> Co, <sup>134,137</sup> Cs)	0,0009	0,0061	0,038	0,0006	0,0009	0,0006

Как видно из таблицы, в газоаerosольных выбросах ядерных установок более значимый вклад в формирование коллективной дозы на человека обуславливают следующие радионуклиды: <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C. К сожалению, эффективность очистки газоаerosольных выбросов пока не доведена до совершенства, что обуславливает выход радионуклидов в окружающую среду.

При эксплуатации ядерных реакторов радиационная обстановка в большей степени формируется выбросами во внешнюю среду радиоактивных инертных газов, изотопов йода и <sup>14</sup>C. Поэтому для обеспечения радиационной безопасности и защиты окружающей среды необходимы эффективные средства контроля содержания <sup>131</sup>I, <sup>14</sup>C и других биологически опасных радионуклидов.

Для решения этой проблемы впервые проведены исследования по определению <sup>131</sup>I в aerosолях гамма-спектрометрическим методом с использованием внутреннего стандарта, а также работы по выбору способа определения <sup>14</sup>C в атмосферном воздухе на территории ИЯФ и получению новых данных о влиянии работы реактора на загрязнение атмосферы.

Данные литературных источников были подкреплены результатами радиационного мониторинга, проводимого по всей территории Республики Казахстан в связи с аварией



на АЭС «Фукусима» в Японии в 2011г. Результаты исследования оседающих примесей подтвердили данные о наличии радионуклидов  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в выбросах ядерных установок. Концентрации  $^{131}\text{I}$  были зафиксированы на уровне порядка  $n \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>. Максимальная концентрация изотопа йода составила  $1,6 \times 10^{-3} - 1,7 \times 10^{-3}$  Бк/м<sup>3</sup> (рисунок 1). Концентрации  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  отмечены на уровне  $n \cdot 10^{-4}$  Бк/м<sup>3</sup>. Максимум объемной активности цезия был зафиксирован 4-5 апреля и составил  $1,6 \times 10^{-4}$  Бк/м<sup>3</sup> (рисунок 2).



Рисунок 1 – Распределение  $^{131}\text{I}$  после аварии на АЭС «Фукусима-1»

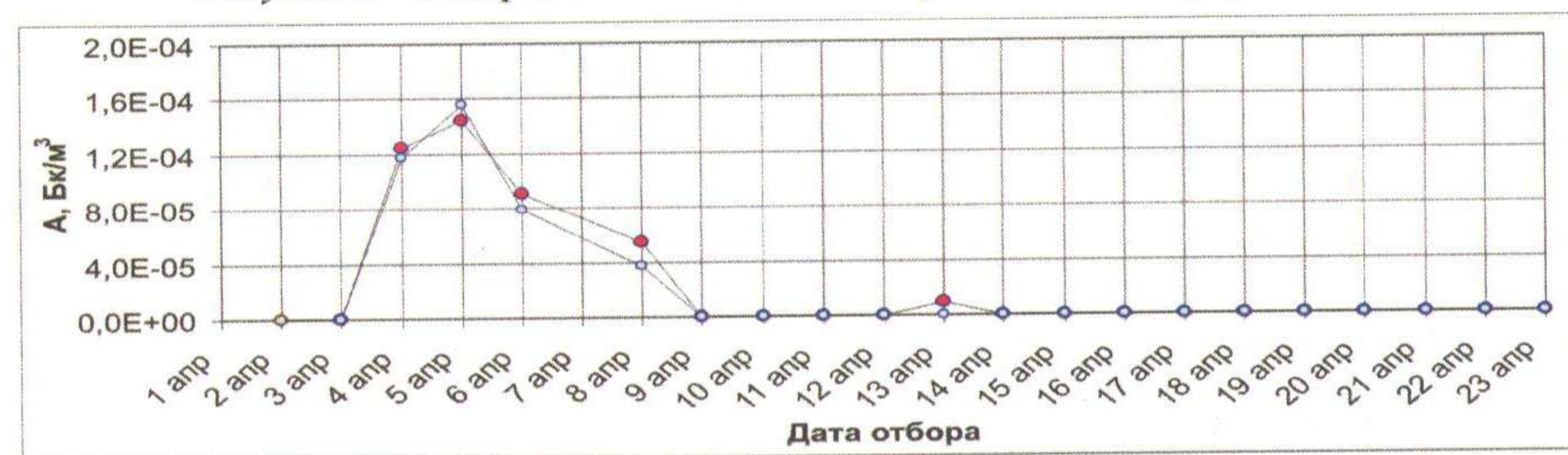


Рисунок 2 – Распределение  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  после аварии на АЭС «Фукусима-1»

Полученные результаты позволили выбрать направление для практических исследований, задачами которых стало практическое подтверждение информации о наличии радионуклидов  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^3\text{H}$  и  $^{14}\text{C}$  в выбросах исследовательских ядерных установок Казахстана. В качестве опытного объекта выбран реактор ВВР-К в г.Алматы.

Исследовательский ядерный реактор ВВР-К (водо-водяной реактор Казахский, мощностью 6 МВт) расположен в пригороде г.Алматы на территории Института Ядерной Физики НЯЦ РК. Жилые дома пос. Алатау расположены на расстоянии 1 км в северо-западном направлении, в 4 км расположен п. Панфиловский. В 650 м восточнее здания реактора и в 150 м от ограждения территории могильника расположены садово-огородные общества «Радуга» и «Мичуринец». Режим работы реактора определяется программой экспериментов, ежегодно проводится летний планово-предупредительный ремонт технологического оборудования

Здание реактора оборудовано специальной и общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией с механическим и естественным побуждением, воздух всех систем после очистки выбрасывается в трубу высотой 82 м и диаметром в устье 1,2 м.

Для характеристики радиационной обстановки в зоне наблюдения исследовательского реактора ВВР-К и разработки рекомендаций к развитию системы государственного радиационного мониторинга проводятся исследования содержания радионуклидов в оседающих примесях в зоне расположения ВВР-К.

Отбор проб воздушных примесей проводится на разработанной сотрудниками института стационарной установке, производительностью 70 м<sup>3</sup>/ч и расположенной на территории ИЯФ в хвосте проекции факела трубы реактора. Отбор проб аэрозолей осуществлялся на фильтр Петрянова (ФПП-15) площадью 225 см<sup>2</sup>; продолжительность отбора проб составляет семь суток. Для стандартизации условий отбора проб время начала отбора устанавливается постоянное. Отбор и измерение счетных образцов выполнены в соответствии с разработанной методикой выполнения измерений на гамма-спектрометре «DeskTop InSpector» (0,1 – 3,0 МэВ), имеющего геометрию «колодца» 4.

По данным результатов гамма-спектрометрического анализа был построен график радиозоологического мониторинга за период с января по октябрь 2012г. Отсчет шкалы датируется январем 2012 г., т.е. с того момента, когда были начаты экспериментальные исследования и зафиксировано появление незначительных концентраций изотопа  $^{131}\text{I}$  (рисунок 3). Далее радиозоологический мониторинг был продолжен и 23.05.2012 г., 21.06.2012 г. были зафиксированы повышенные содержания  $^{131}\text{I}$ , что обусловлено выходом реактора на рабочий режим (поставка и дистилляция йода). Данное незначительное повышение концентрации  $^{131}\text{I}$  в атмосферном воздухе считается нормой при рабочем режиме реактора ВВР-К, т.к. пик максимальной концентрации радионуклида значительно ниже установленных норм и не превышает ПДК. С 30 июля по 17 сентября 2012г. данные по мониторингу отсутствуют, т.к. реактор был заглушен на профилактический режим. Данные результатов измерений сопоставлены с графиком работ реактора, что позволяет судить об актуальности проводимого мониторинга.

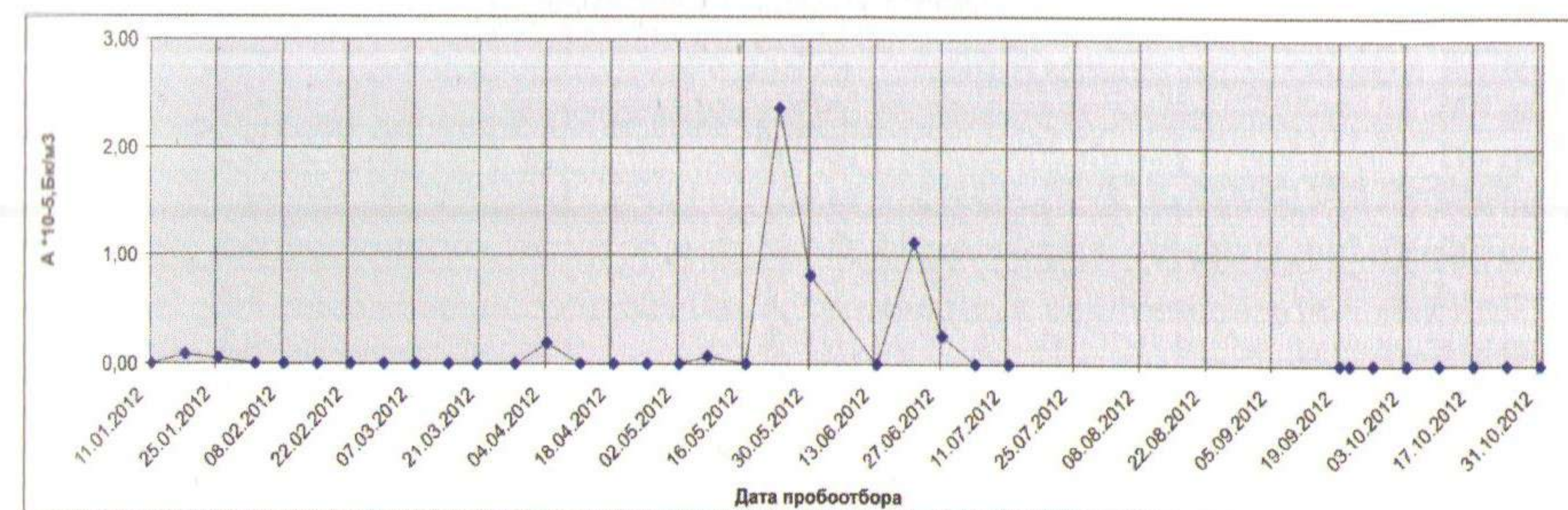


Рисунок 3 – Результаты радиозоологического мониторинга ВВР-К

Для обеспечения высокоточных результатов анализа проб, продолжают экспериментальные исследования по разработке методики определения искусственных радионуклидов в аэрозолях гамма-спектрометрическим и радиохимическим методом. Для разработки методики по определению  $^{131}\text{I}$  в аэрозолях гамма-спектрометрическим



методом были впервые приготовлены спектрометрические образцы из фильтров больших размеров. Также был специально приготовлен в ИЯФ внутрилабораторный стандартный образец на основе радионуклида  $^{133}\text{Ba}$  с энергетической линией 356.01 кэВ, находящейся в одном энергетическом диапазоне с линией определяемого радионуклида  $^{131}\text{I}$  - 364.48 кэВ.

По результатам гамма-спектрометрического анализа проб атмосферных аэрозолей отмечено, что за весь период наблюдений фиксируемые концентрации  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  не превышают радиационного фона, характерного для данной местности и значительно ниже допустимых радиационных пределов.

Заслуживают внимания и результаты исследований содержания  $^3\text{H}$  в снеговом покрове. По данным ретроспективных исследований радиационной обстановки на территории ИЯФ и в прилегающем населенном пункте, в единичных точках отмечены концентрации трития, заметно превышающие фоновые значения (до 119 Бк/л). При этом, большинство таких точек расположено ближе к могильнику.

Исследования были продублированы в 2011-2012 году. Так как за зимний период 2011-2012 г. на территории ИЯФ выпало достаточно большое количество снега (до 92 см), было решено проводить отбор проб дважды. Первый отбор был произведен в период, когда снега было достаточно для его отбора по всей глубине. Вторичный отбор произведен после февральского свежеснежавшего снега (10-20 см).

Результаты радиационного мониторинга показали следующее (таблица 2).

Таблица 2 – содержание  $^3\text{H}$  в снеговом покрове на территории ИЯФ

Код пробы	Концентрация $^3\text{H}$ по всей глубине снежного покрова (Бк/л)	Концентрация $^3\text{H}$ в свежеснежавшем снеге (Бк/л)
Sn-inp-01	$7 \pm 3$	$8 \pm 3$
Sn-inp-02	< 5	< 5
Sn-inp-03	< 5	< 5
Sn-inp-04	< 5	< 5
Sn-inp-05	< 6	< 5
Sn-inp-06	< 5	< 5
Sn-inp-07	$10 \pm 4$	< 5
Sn-inp-08	$14 \pm 4$	< 5
Sn-inp-09	$6 \pm 3$	< 5
Sn-inp-10	$11 \pm 3$	< 5
Sn-inp-11	$10 \pm 3$	< 5
Sn-inp-12	$7 \pm 3$	< 6
Sn-inp-13	< 5	< 6
Sn-inp-14	< 5	< 5
Sn-inp-15	$13 \pm 3$	< 6
Уровень вмешательства (для населения)	7700	

Как видно из результатов, в некоторых пробах концентрация  $^3\text{H}$  в свежеснежавшем снеге более чем в два раза ниже, чем в снеге, накопившемся за зимний период. В пробах снега, отобранных на территории ИЯФ на всю глубину залегания, отмечены концентрации  $^3\text{H}$  до  $14 \pm 4$  Бк/л. Для сравнения, в свежеснежавшем снеге зафиксированы

концентрации трития не более 5 Бк/л. Из полученных результатов следует сделать предположение о возможном накоплении трития в снеговом покрове за зимний период. Но для подтверждения результатов и для развития системы радиационного мониторинга, исследования будут продолжаться.

Анализ содержания трития в пробах снегового покрова, отобранных в одних и тех же точках по территории ИЯФ в 2005 и 2012 годах, показал стабильное содержание радионуклида в отобранных пробах (рисунок 4).

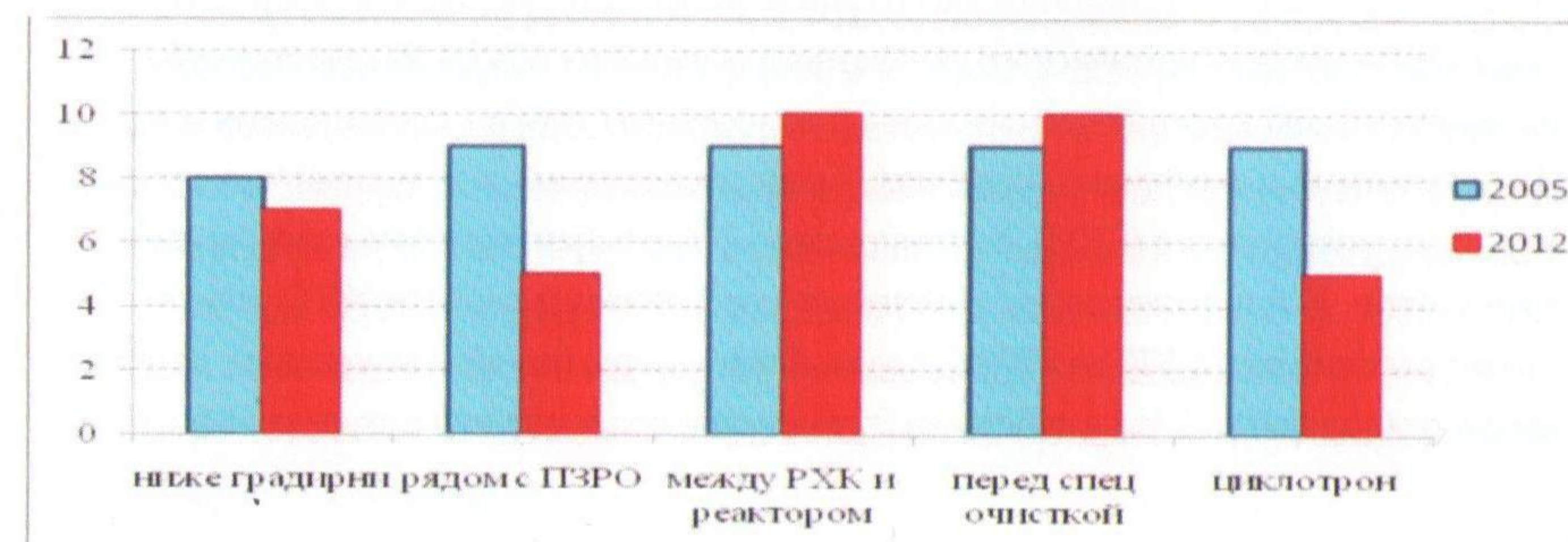


Рисунок 4 – Содержание  $^3\text{H}$  в снеговом покрове за 2005 и 2012 год

Данные результаты анализа показывают стабильность содержаний трития в выбросах реактора ВВР-К за весь период исследований.

#### Выводы

Полученные результаты исследований подтверждают, что влияние исследовательской ядерной установки ВВР-К на окружающую среду проявляется в виде наличия содержания трития в некоторых пробах снега, а также изотопа  $^{131}\text{I}$  в атмосферных аэрозолях, но фиксируемые концентрации данных радионуклидов на несколько порядков меньше предельно-допустимых концентраций.

На основании полученных результатов получены практические рекомендации к развитию радиационного мониторинга исследовательских ядерных установок в Казахстане. Для определения содержания искусственных радионуклидов в компонентах окружающей среды необходимы дальнейшие исследования и разработка высокочувствительных методов анализа.



## СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Муканова А.О., Чихрай Е.В., Шестаков В.П., Абдуллин Х.А., Габдуллин М.Т.,  
Гусейнов Н.Р., Исмаилов Д.В.

Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики  
КазНУ им. аль-Фараби МОН РК, ул. Тимирязева, 71, г. Алматы, Казахстан  
e-mail: chikhray@mail.ru

В работе приводятся результаты по созданию установки для синтеза углеродных нанотрубок (УНТ) методом химического газозафазного осаждения (CVD). В качестве субстратов были использованы кремниевые пластины с нанесенным тонким слоем никеля. Образцы УНТ, полученные в различных условиях, были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM), рентгеновского флуоресцентного анализа и рамановской спектроскопии. Были исследованы изменения морфологии и свойств УНТ, зависящие от температуры синтеза (от 670 до 870 °С), газовой атмосферы (гелий или водород), источника углерода (этанол бензол), типа субстрата (кремниевая подложка или никелевая фольга).

### Введение

Углеродные нанотрубки (УНТ) - протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров состоят из одной или нескольких свёрнутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей и заканчиваются обычно полусферой.

Основная классификация нанотрубок проводится по способу сворачивания графитовой плоскости. Этот способ сворачивания определяется двумя числами  $n$  и  $m$ , задающими разложение направления сворачивания на вектора трансляции графитовой решётки. По значению параметров  $(n, m)$  различают прямые (ахиральные) нанотрубки - «кресло» или «зубчатые» (armchair)  $n=m$ -зигзагообразные (zigzag)  $m=0$  или  $n=0$ -спиральные (хиральные) нанотрубки.

УНТ обладают разнообразными физическими и химическими свойствами, многие из которых уникальны.

Одним из поразительных свойств УНТ является то, что их свойства зависят от геометрии. От угла скручивания зависят, в частности, их электрические свойства - углеродные нанотрубки могут проявлять металлическую и полупроводниковую проводимость. УНТ имеют очень высокую прочность и модуль упругости на растяжение во много раз выше, чем у стали. Широкий диапазон электрической проводимости - от полупроводниковой до металлической - делают их перспективными для создания проводников и р-п-переходов в наноэлектронике, для создания проводящих, высокопрочных композиционных материалов и функциональных добавок к полимерам. Перспективно применение углеродных нанотрубок в самых различных областях [1-3]. Кроме того, углеродные материалы типа аморфного углерода или активированных углей находят многочисленные применения, а их замещение на УНТ в некоторых случаях дает уникальный эффект [4], сдерживаемый

только высокой стоимостью УНТ по сравнению с другими углеродными материалами. Поэтому разработка эффективных методов синтеза УНТ весьма актуальна. В настоящей работе приводятся результаты по созданию установки для синтеза УНТ методом химического газозафазного осаждения (CVD) и исследованию свойств полученных образцов.

### Установка для синтеза УНТ

Для синтеза УНТ было создано термическое оборудование на основе трубчатой резистивной печи с диапазоном рабочих температур от 600 до 1000°С и проточного герметичного реактора с контролируемой атмосферой, в котором можно располагать контейнеры с каталитическим веществом либо подложки с нанесенными каталитическими кластерами. В качестве катализаторов можно использовать железо, кобальт, никель и другие соединения.

Трубчатая резистивная печь была изготовлена на основе нихромовых нагревателей, на которые для термоизоляции было нанесено несколько слоев асбеста. Общая длина трубчатой печи составила 500 мм, электрическое сопротивление - 20 Ом.

Внутри трубчатой печи была помещена кварцевая трубка с внутренним диаметром 20 мм и длиной 1000 мм.

Питание печи осуществлялось трансформатором и ЛАТРОм, напряжение измерялось тестером UNI-T UT61A. Температура печи контролировалась хромель-алюмелевой термопарой с защитной арматурой из нержавеющей стали и измерялась универсальным вольтметром-мультиметром UNI-T UT803.

Для вакуумирования системы применен форвакуумный насос 2НВР-5 в составе вакуумного поста с запорными вентилями и термопарным датчиком измерения давления.

Общая схема собранной на настоящий момент установки показана на рисунке 1.

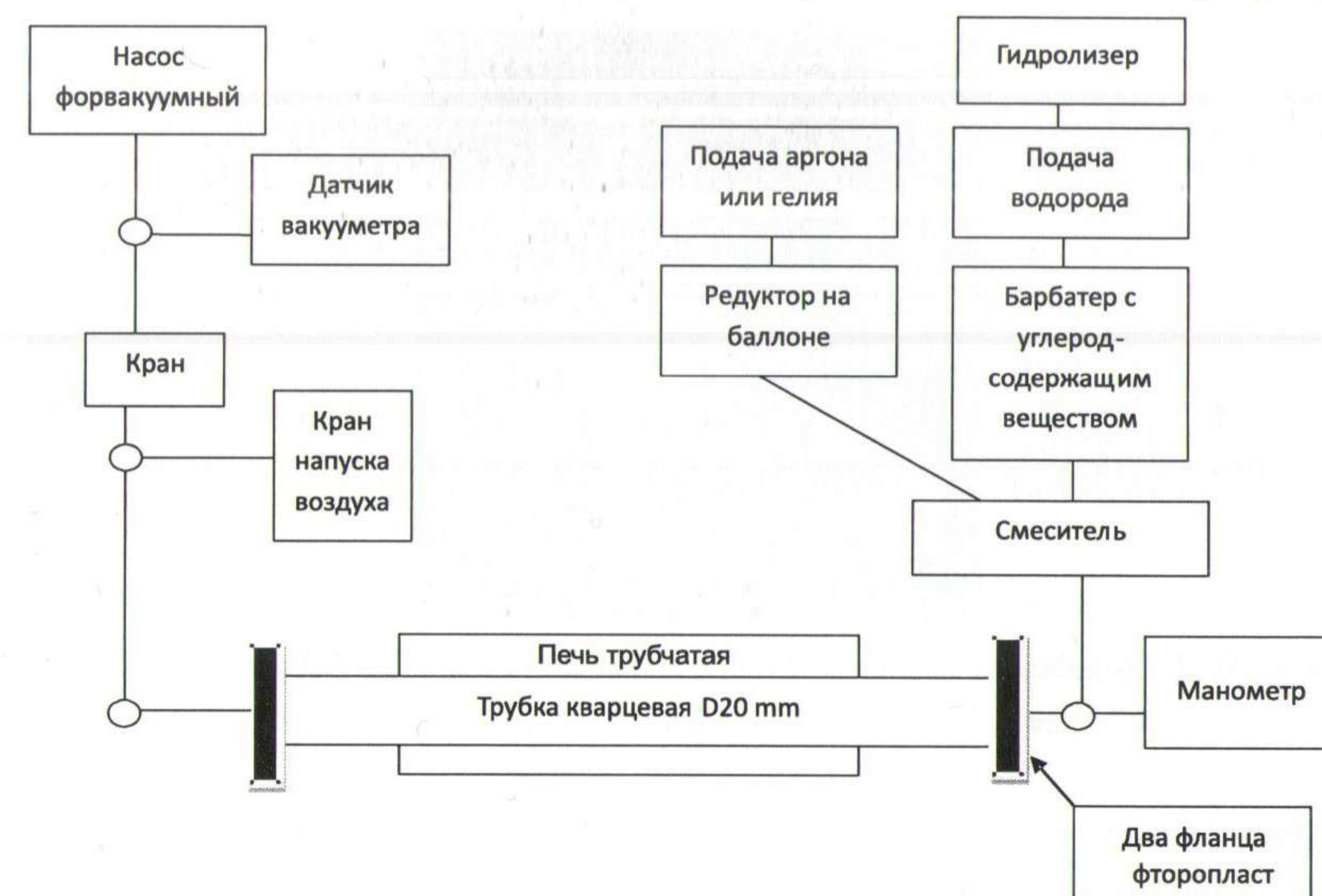


Рисунок 1- Общая схема собранной установки



Для герметизации реактора были изготовлены фторопластовые фланцы (Рисунок 2) для зажима витонových вакуумных прокладок, надетых плотно на оба конца кварцевой трубки. Фторопластовые фланцы имели выходные трубки диаметром 6 мм для крепления вакуумного шланга из ПВХ.

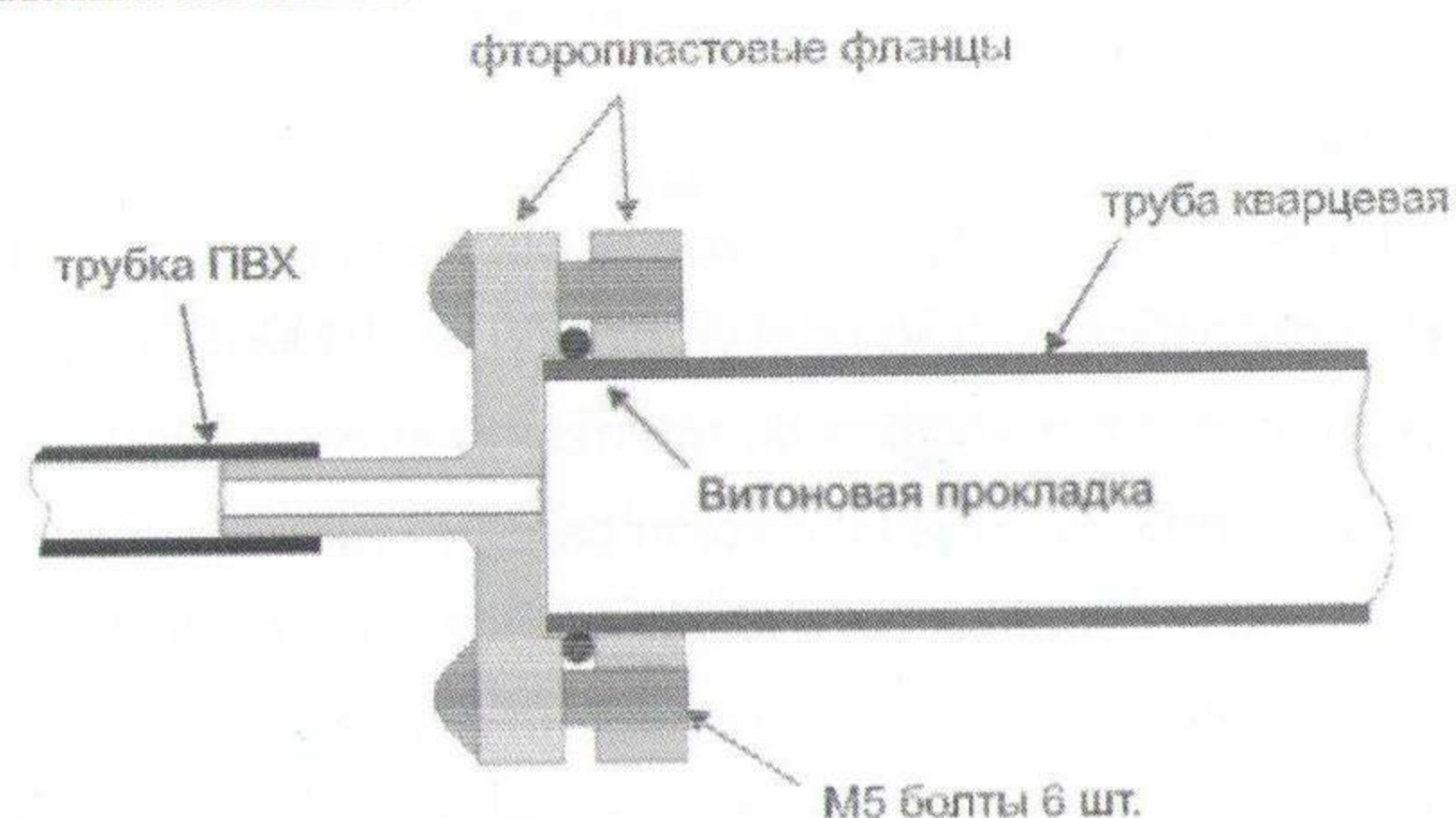


Рисунок 2- Фторопластовые фланцы

Фланцы выполнены из фторопласта, между которыми помещено витоновое кольцо для герметизации, которое зажимается болтами. Несмотря на высокую температуру в центре реактора (до 1000°C), нагрев фторопластовых фланцев не происходил за счет большой длины трубы реактора (1 метр) по сравнению с длиной трубчатой печи, в которой находится реактор (50 см) и малой теплопроводности кварца. Даже при потоке газа около 50 мл в мин и температуре печи 1000°C не наблюдалось разогрева фланцев выше 40°C. При этом герметичность соединения не нарушалась.

#### Экспериментальные результаты и их обсуждение

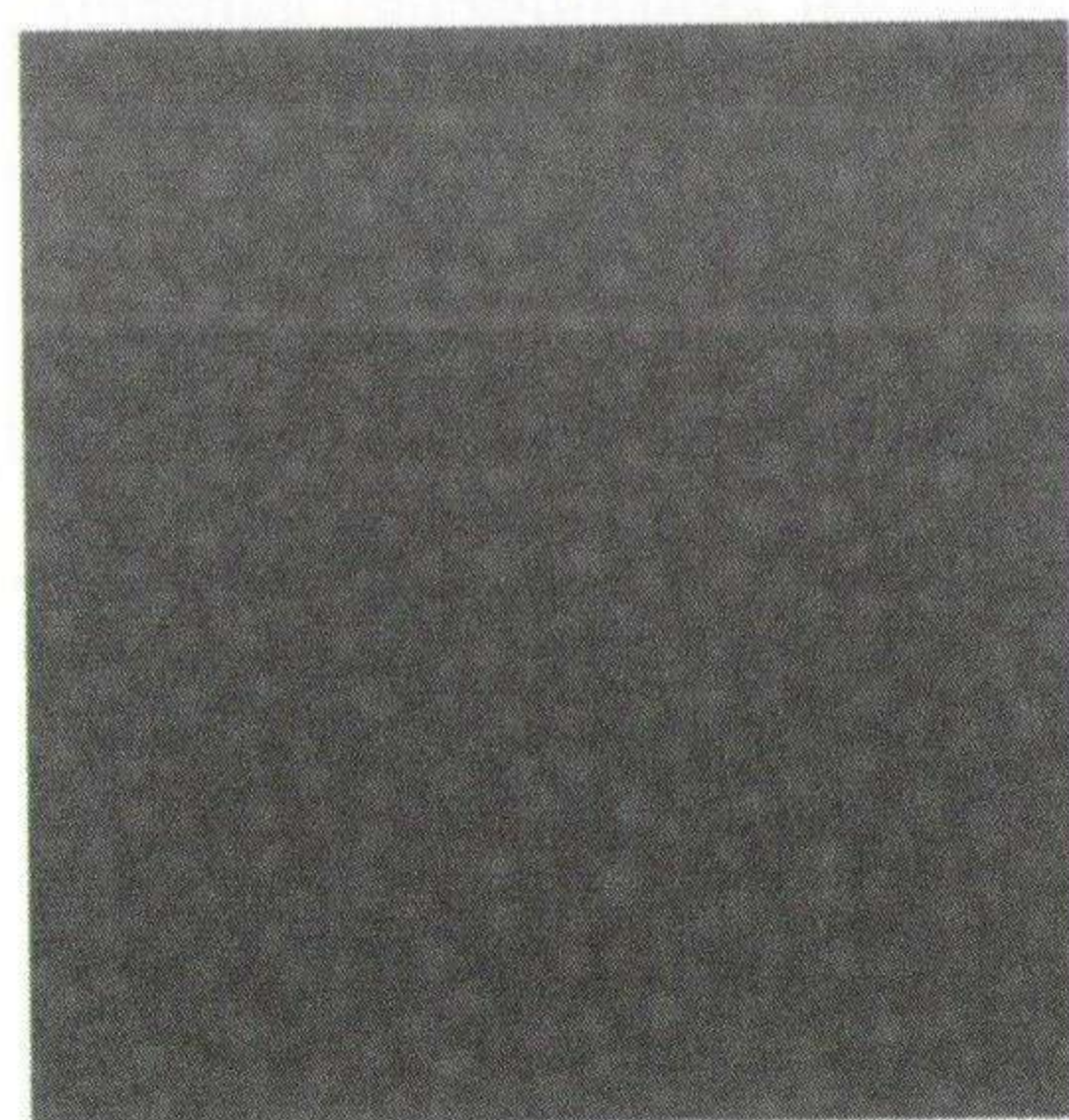


Рисунок 3 - SEM изображение подложки Si/SiO<sub>2</sub>-Ni после отжига при 775°C в течение 15 минут в атмосфере водорода. Показан участок 1x1 микрон.

Углеродные слои осаждались на кремниевых подложках с предварительно выращенным методом термического окисления слоем SiO<sub>2</sub>. На подложки методом магнетронного распыления наносились тонкие слои никеля. В отдельных случаях использовалась в качестве подлож-

ки никелевая фольга. Синтез методом химического парофазного осаждения осуществлялся в трубчатом герметичном проточном кварцевом реакторе при атмосферном давлении в потоке гелия либо водорода. Источником углерода были пары этанола. На этапе нагрева реактор продувался инертным газом либо водородом. При стабилизации необходимой температуры включалась продувка газа через барботер, находящийся при комнатной температуре и заполненный этанолом. После завершения синтеза продувка реактора гелием или водородом осуществлялась на протяжении всего этапа остывания реактора до температуры 100-150°C. Свойства полученных слоев исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (SEM), рентгенфлуоресцентным микроанализом и рамановской спектроскопией.

Как показывают исследования поверхности подложек методом SEM, отжиг кремниевых подложек с каталитическим слоем никеля при температурах 650-900°C в инертной либо в водородной атмосфере без подачи углерод-содержащих компонентов приводит к формированию нанокластеров никеля на поверхности оксида кремния. Средние размеры нанокластеров зависят от толщины первоначального слоя никеля и в нашем случае составляли 10-20 нм (рис. 3). Эти нанокластеры выступают в роли катализаторов роста УНТ по известному механизму пересыщения раствора углерода в металле и выделения второй фазы.

Как показали SEM исследования синтезированных слоев, полученные образцы не содержат аморфного углерода, присутствуют только многостенные УНТ с большим аспектным соотношением. Морфология полученных УНТ зависит от температуры синтеза и использованного газа-носителя. На рис. 4 показаны электронно-микроскопические снимки слоев, полученных при синтезе в атмосфере водорода. При одинаковой температуре синтеза УНТ значительно более прямые и имеют значительно меньший диаметр (25-30 нм) при росте в атмосфере водорода. При синтезе в атмосфере гелия средний диаметр УНТ был 50-70 нм.



Рисунок 4 - Электронно-микроскопические снимки слоев УНТ на кремниевой подложке, полученных в водородной атмосфере при температуре 875°C, время синтеза 15 мин, увеличение x150000 (a), x5000 (b) и x3000 (c). Снимки сделаны при угле съемки 0° (a), 70° (b) и 90° (c).

Скорость роста слоев УНТ при температурах 780-870°C составляла примерно 30 микрон за 15 минут синтеза, как показано на рис. 4 с.



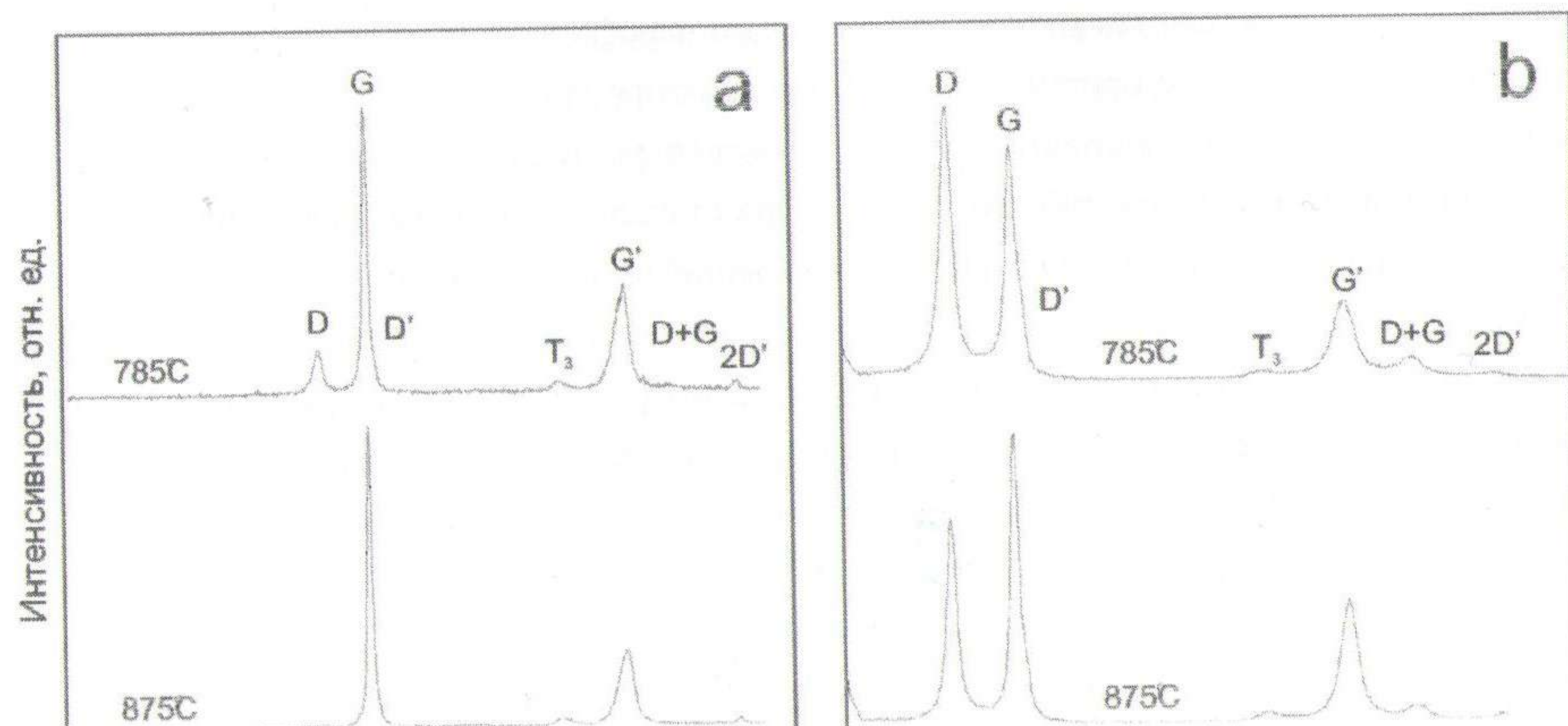


Рисунок 5 - Рамановские спектры слоев УНТ, полученных при температурах 785°С и 875°С в водородной атмосфере, время синтеза 15 мин: а - на никелевой фольге, б - на кремниевой подложке. Спектры сняты при длине волны возбуждения 473 нм.

На рис. 5 показаны рамановские спектры слоев УНТ, полученных при температурах 785°С и 875°С в водородной атмосфере, время синтеза 15 мин. Слева приведены спектры образцов, полученных на никелевой фольге, справа – на кремниевой подложке. Спектры сняты при возбуждении синим лазером (473 нм). Спектры состоят из основных полос D и G при частотах 1360 и 1580  $\text{см}^{-1}$  соответственно. Со стороны высокоэнергетического спада G присутствовала слабая полоса D', связанная, как и полоса D, с дефектами структуры. На спектрах также виден ряд полос: G' (или 2D) при частоте 2720  $\text{см}^{-1}$  (вызвана двухфононным неупругим рассеянием), D+G при частоте 2950  $\text{см}^{-1}$  (комбинация обертонов D и G), 2D' при 3240  $\text{см}^{-1}$  (обертон D') и T3 при 2440  $\text{см}^{-1}$  (природа этой полосы до сих пор не ясна).

Как видно из рис. 5 б, рамановские спектры полученных образцов совпадают со спектрами многостенных УНТ, имеющимися в литературе. Для образцов, выращенных на подложках Si/SiO<sub>2</sub>/Ni, отношение интенсивностей D и G полос (ID/IG) увеличивалось от ~0.60 после синтеза при 875°С, до ~0.9 при 785°С и ~1.3 при 670°С, что свидетельствует о возрастании дефектности полученных слоев УНТ с понижением температуры синтеза.

Интересно отметить, что если УНТ росли более или менее равномерно на поверхности подложек Si/SiO<sub>2</sub>/Ni, то на поверхности никелевой фольги УНТ локализовались вдоль границ зерен и дефектов поверхности. Основная же часть поверхности никелевой фольги после синтеза была покрыта тонким слоем графита, о чем свидетельствуют рамановские спектры (рис. 5 а). При этом если после синтеза 670°С интенсивность полосы D была существенной, то повышение температуры до 875°С приводило к значительному подавлению дефектности графитового слоя, и на отдельных участках рамановские спектры соответствовали тонким слоям высокосовершенного графита.

## Выводы

Создана установка для получения углеродных нанотрубок методом химического газофазного осаждения. Синтез УНТ осуществлялся на подложках из пластин монокристаллического кремния с термическим оксидным слоем, на который наносился тонкий слой никеля, а также на никелевой фольге. Определены технологические режимы для синтеза УНТ. Полученные образцы УНТ изучены методом сканирующей электронной микроскопии, рентген-флуоресцентным микроанализом и рамановской спектроскопией. Исследовано изменение морфологии и свойств УНТ в зависимости от температуры синтеза (от 670 до 870°С), от газовой атмосферы (гелий и водород), от типа источника углерода (бензол и этанол), от вида подложек (кремний и фольга никеля).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jorio, G. Dresselhaus, M.S. Dresselhaus (Eds.): Carbon Nanotubes, Topics Appl. Physics 111 Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2008) 750 p.
2. Carbon Nanotubes. Ed. Jose Mauricio Marulanda, In-Tech, 2010, 766 p.
3. Carbon nanotubes – growth and applications. Ed. M. Naraghi. In-Tech, 2011, 616 p.
4. R. Sengupta, M. Bhattacharya, S. Bandyopadhyay, A.K. Bhowmick. A review on the mechanical and electrical properties of graphite and modified graphite reinforced polymer composites. Progress in Polymer Science 36 (2011) 638–670.



## ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ ЗАПИСЕЙ ЛЕДНИКОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Рябенко О.В., Михайлова Н.Н.

Институт Геофизических Исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Цель настоящей работы – исследование волновых форм и особенностей временных вариаций сейсмических событий, по природе происхождения являющихся ледниковыми, регистрируемых в локальной зоне территории Центрального Тянь-Шаня за период 2010-2011гг.

Для выполнения этой цели решались следующие задачи:

1. сделана выборка ледниковых сейсмических событий из всех зарегистрированных в исследуемой зоне;
2. проведен анализ волновых форм событий вошедших в выборку;
3. исследовано распределение событий по времени в очаге;
4. исследованы временные вариации месячного количества событий;
5. исследованы сезонные вариации количества событий.

Станциями сети НЯЦ РК, в первую очередь, сейсмической группой PS23-Маканчи, постоянно регистрируется большое количество слабых сейсмических событий из района Центрального Тянь-Шаня, максимальная концентрация эпицентров, которых занимает территорию между 420–42,50 с.ш. и 80,50–820 в.д. (рисунок 1). Согласно годографам,

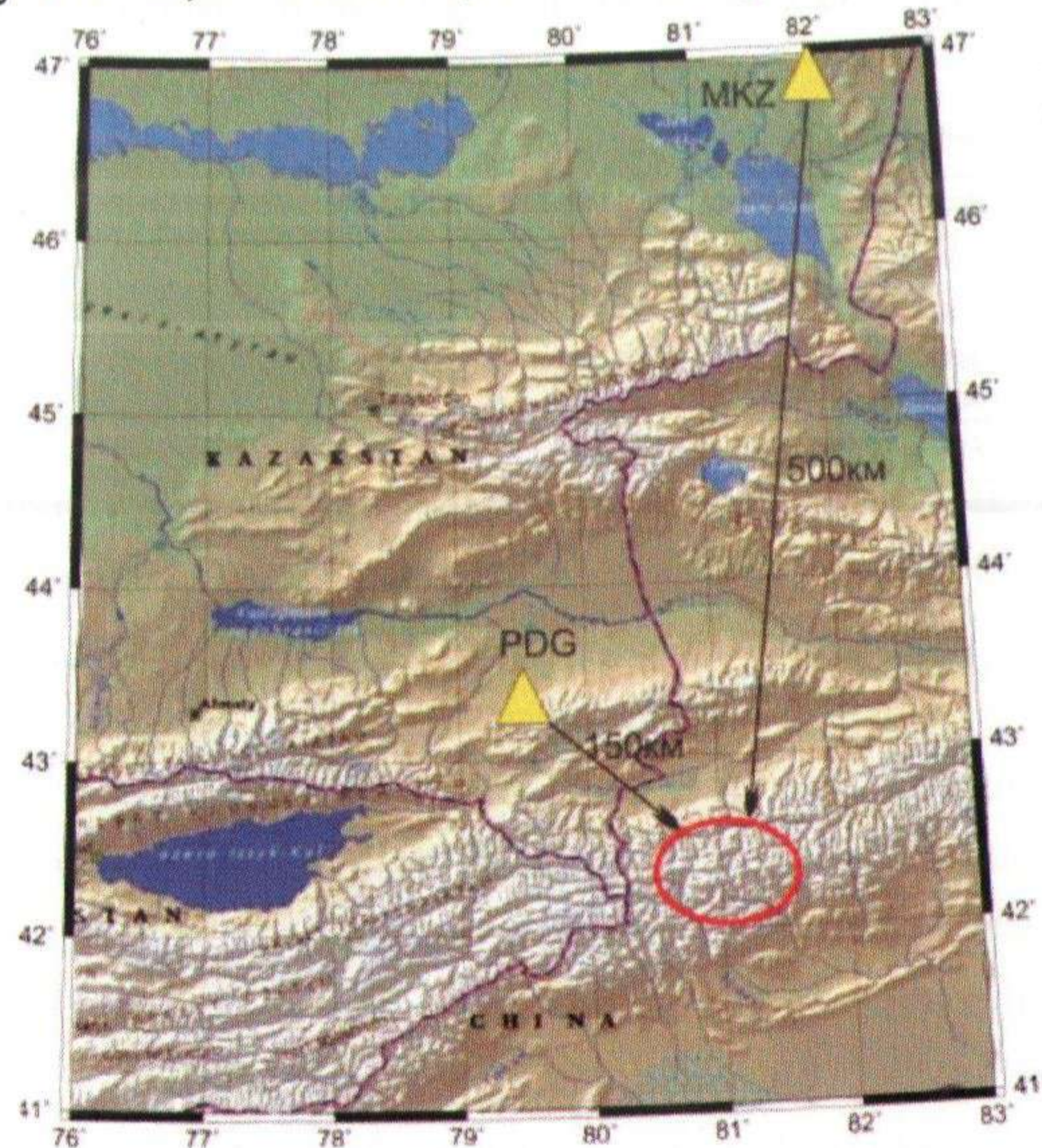
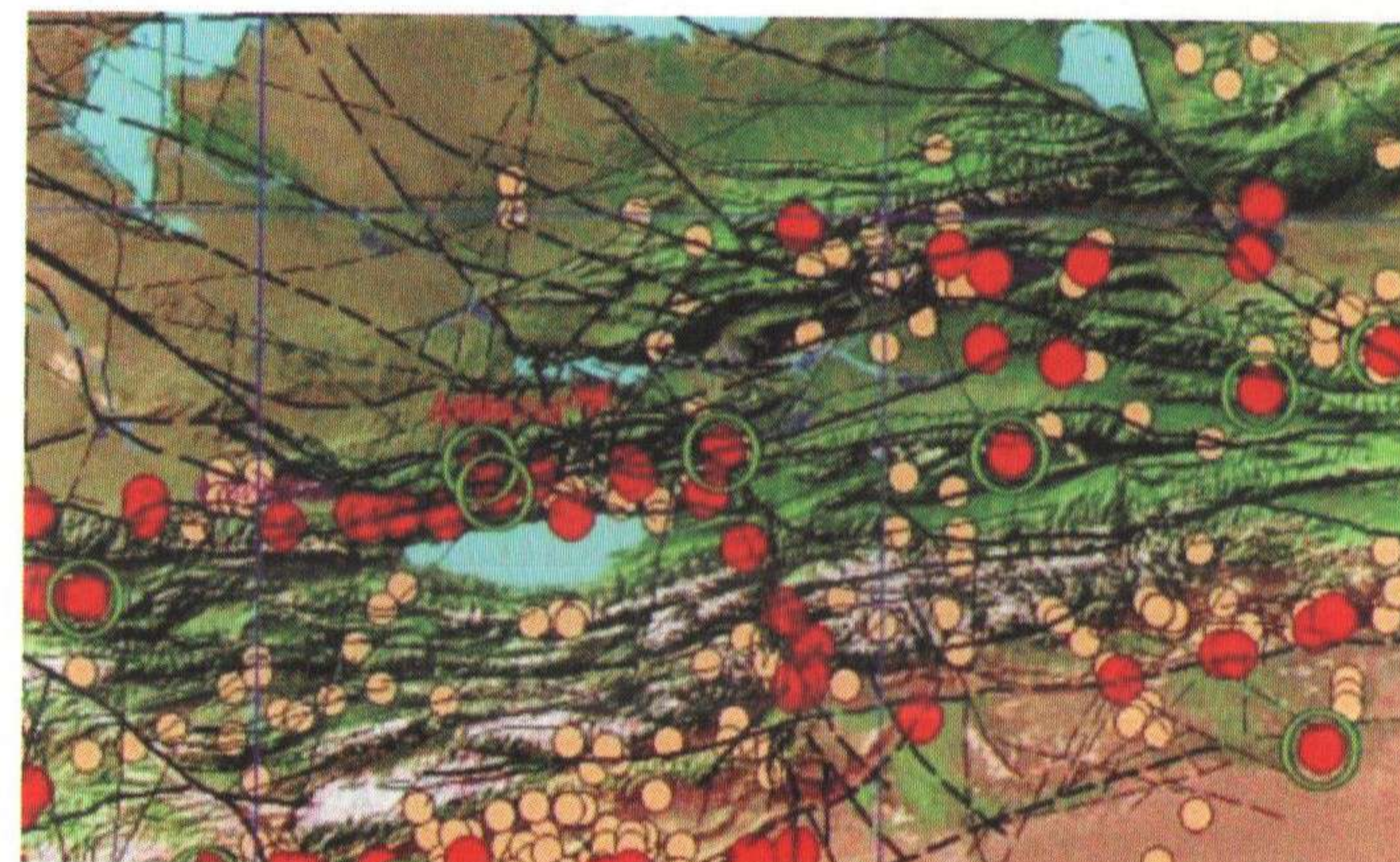


Рисунок 1. Схема расположения станций НЯЦ ИГИ РК (район исследования показан пунктиром)

эпицентры этих событий находятся на удалении от станции PS23-Маканчи около 500 км. Азимуты на источник определяются достаточно уверенно и довольно хорошо соответствуют друг другу по данным разных типов волн: диапазон азимутов примерно равен 1850 – 1900.

Концентрация эпицентров рассматриваемых событий наблюдается вблизи самой высотной части Центрального Тянь-Шаня, в зоне постепенного уменьшения высот покрытой мощными ледниками. На основании приуроченности максимальной концентрации событий практически нулевой глубины к ледникам, возникло предположение, что исследуемые сейсмические события по своей природе связаны с ледниками и процессами, происходящими в них. Особенности событий из этого района за период 2003-2007гг. проанализированы в статье [1]. В настоящей работе исследовано развитие сейсмического режима в районе в настоящее время.

Район исследования относится к Кокшаальскому складчатому поясу, сейсмогенный потенциал которого оценивается 7,0 [2]. Ранее сетями аналоговых станций Казахстана и Кыргызстана здесь без пропуска регистрировались землетрясения только с магнитудой  $m_b \geq 4,0$  (энергетический класс  $K \geq 9$ ). Все зарегистрированные здесь землетрясения были отнесены к коровым, сильным землетрясениям, как видно из приведенной на рисунке 1



1 – катастрофические землетрясения с магнитудой  $6 > M_s \geq 7,1$ ; 2 – землетрясения  $5 > M_s \geq 6$ ; 3 – землетрясения  $M_s \geq 5$

Рисунок-2 Общая схема расположения эпицентров землетрясений в Северном Тянь-Шане и Джунгарии за весь исторический период по 2010 год

Карты, с исторических времен до 2011 г. не наблюдалось. Начиная со времени обработки первых данных станции PS23-Маканчи слабые землетрясения из рассматриваемой зоны регистрируются практически каждый день. В 2010 г. в хр. Тянь-Шаня была установлена новая станция сети «KAREMON» «Подгорная», которая находится от рассматриваемого района на расстоянии 200 км (рисунок 1). В настоящее время анализ исследуемых событий проводится по записям удаленной станции «Маканчи» (500 км) и ближней



– «Подгорной», пример записи этими станциями показан на рисунке 3. Исследование

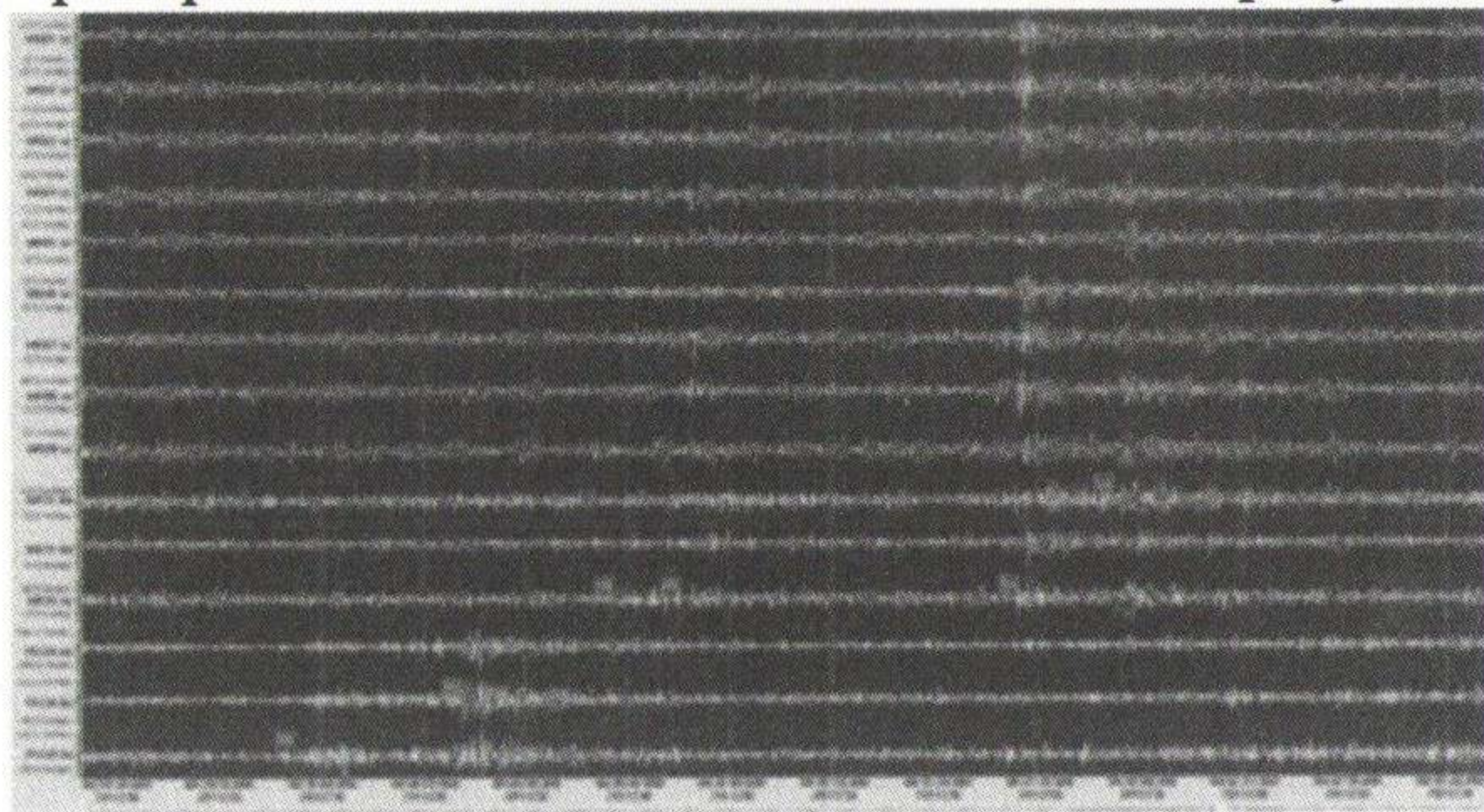


Рисунок 3. Обзорная запись события из исследуемой зоны станцией PS23-Маканчи и Подгорная

событий из рассматриваемой зоны показывает, что по волновой картине их можно разделить на два класса. Примеры типичных волновых форм событий первого класса по записям ст. Маканчи и Подгорная приведены на рисунке 4-5, красными флажками

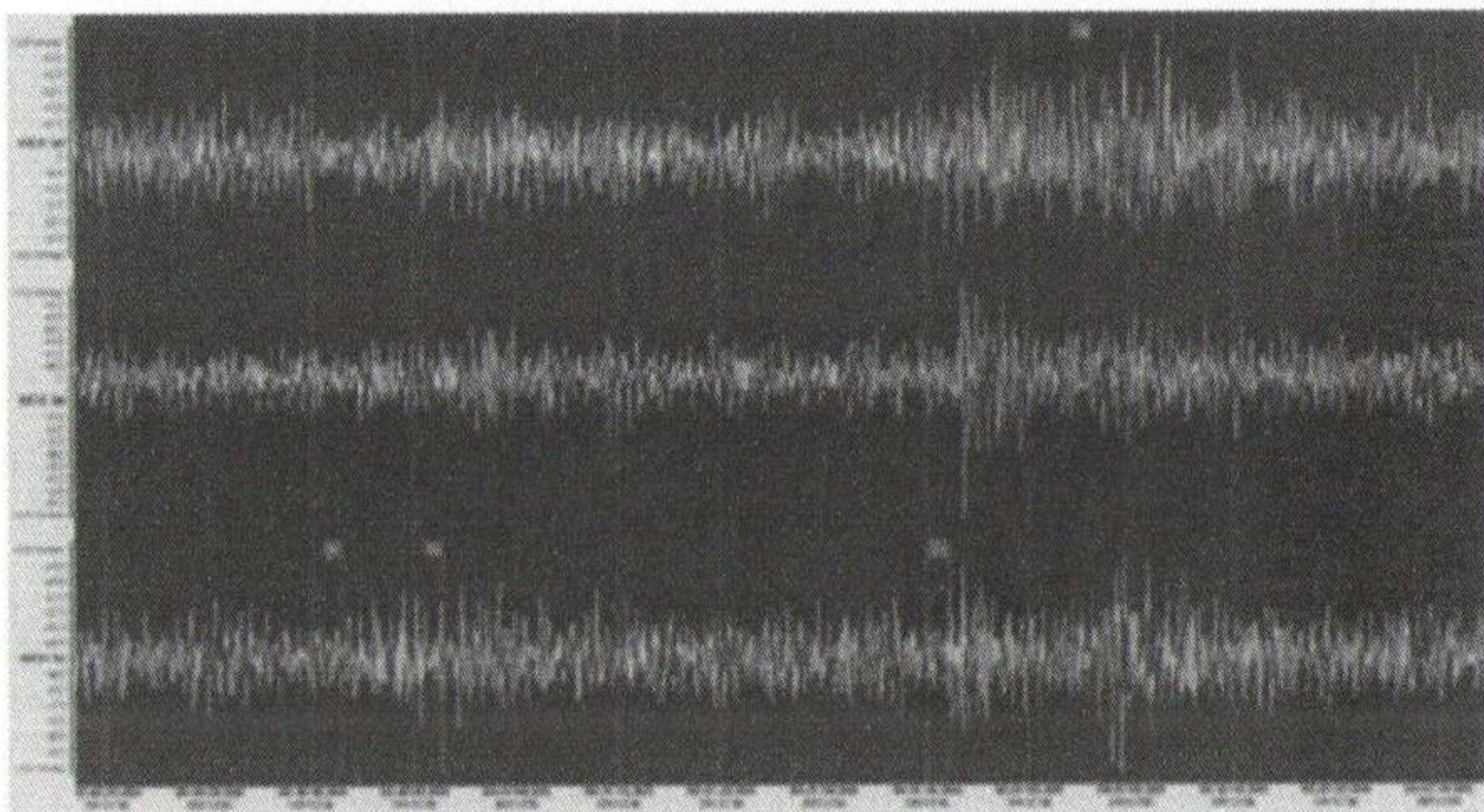


Рисунок 4. Вид записей событий первого класса станцией PS23-Маканчи

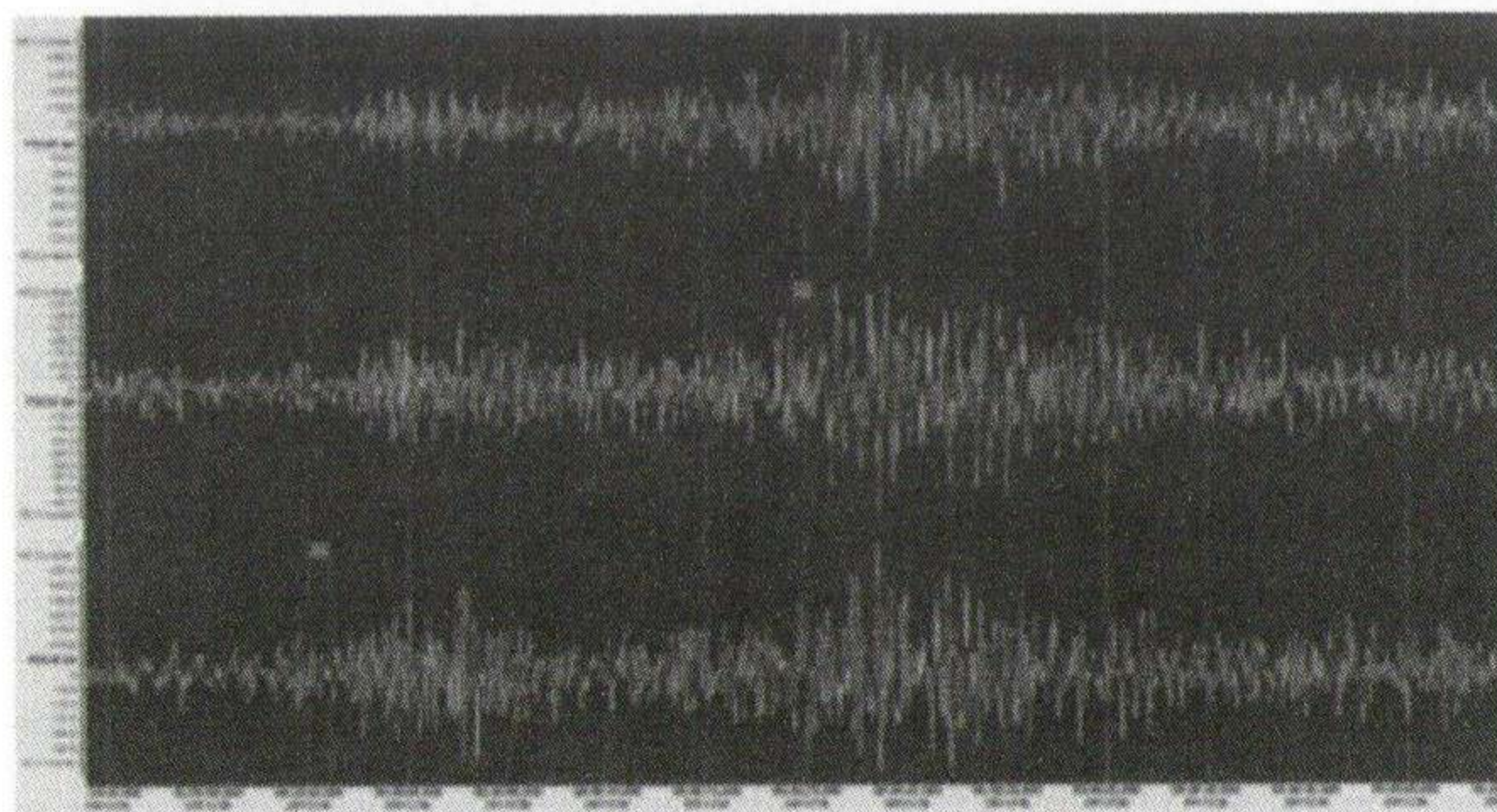


Рисунок 5. Вид записей событий первого класса станцией Подгорная

выделены вступления первой продольной и первой поперечной волн. Обсуждаемые со-

бытия наблюдаются по несколько, а то и по несколько десятков в день, их записи очень похожи друг на друга. Обычно - это слабые события, они имеют нечеткие вступления Р- и S-волн, это хорошо видно на рисунке 4 по записи станции Маканчи. Еще одной особенностью являются наблюдаемые на записи ближней станции Подгорное (рисунок 5) после первого вступления Р- и S-волны, повторные вступления тех же волн (двойные, иногда тройные), это не характерно для тектонических землетрясений. Также их можно выявить по временам запаздывания S и Р-волн ( $T_s-p$ ), разница значений  $S_n - P_n$  по станции Маканчи находится примерно в диапазоне 55 – 60 сек, по станции Подгорная 20 -25 сек, иногда близко к этому. С помощью частотной фильтрации удастся несколько улучшить четкость вступления S-волны, но выделение Р-волны всегда остается неуверенным. Подтверждением того, что все записи, подобные приведенным на рисунках 4 - 5, относятся к источникам из одного района, являются результаты определения азимутов на источник по данным f-k-анализа. Сейсмические события, отнесенные к первому классу, составляют большинство из регистрируемых в исследуемой зоне. По природе происхождения эти события были отнесены к ледниковым [1].

Примеры волновых форм событий второго класса по записям станций Маканчи и Подгорная приведены на рисунке 6-7. По записям ближней и дальней станций видно четкие вступления Р-волн, а так же S-волн. На рисунке 7 записи станции Подгорное волновые формы характерны для землетрясений, с четкими вступлениями Р и S-волн без дублирующих пиков.

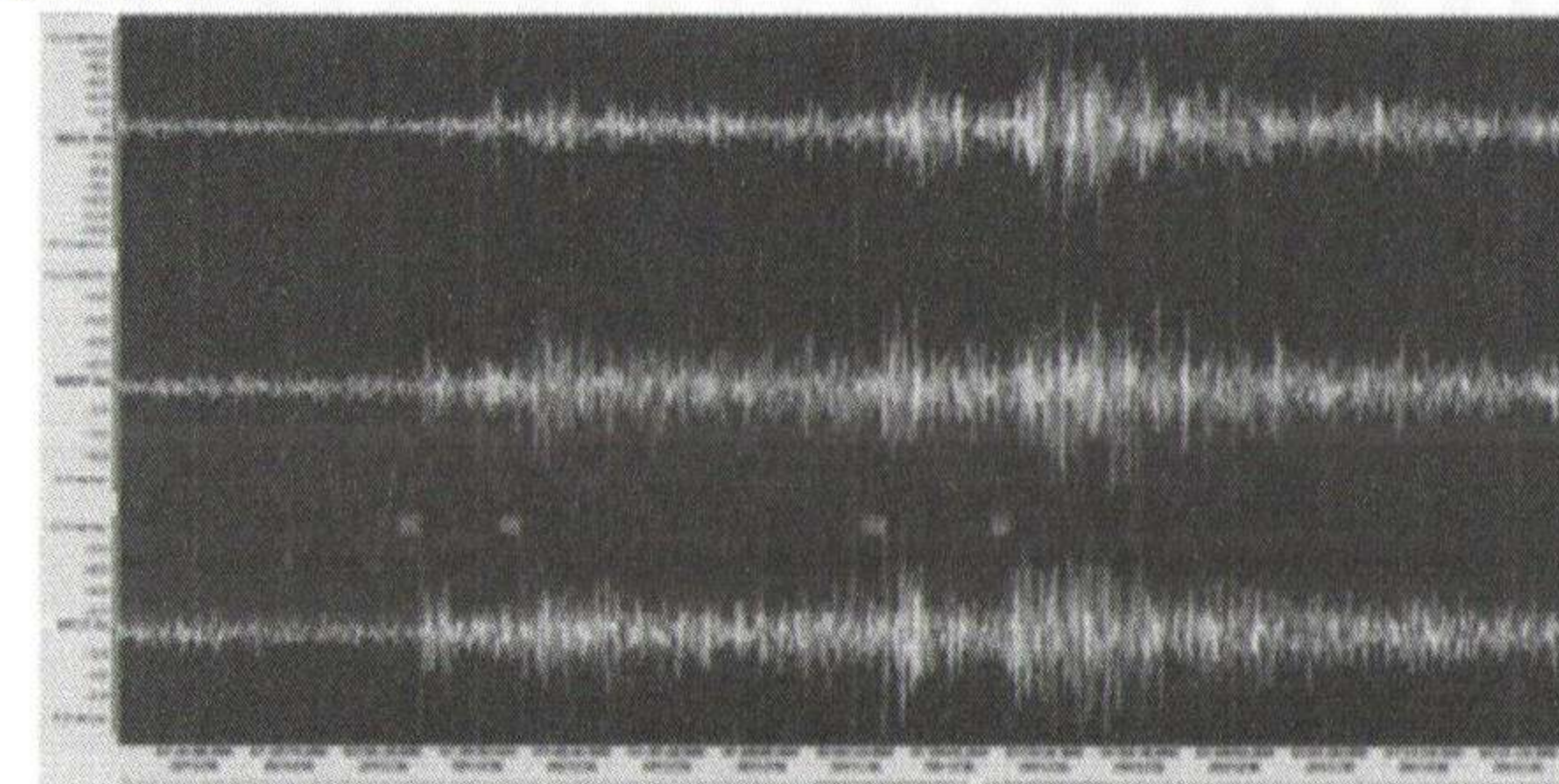


Рисунок 6. Вид записей событий второго класса станцией PS23-Маканчи

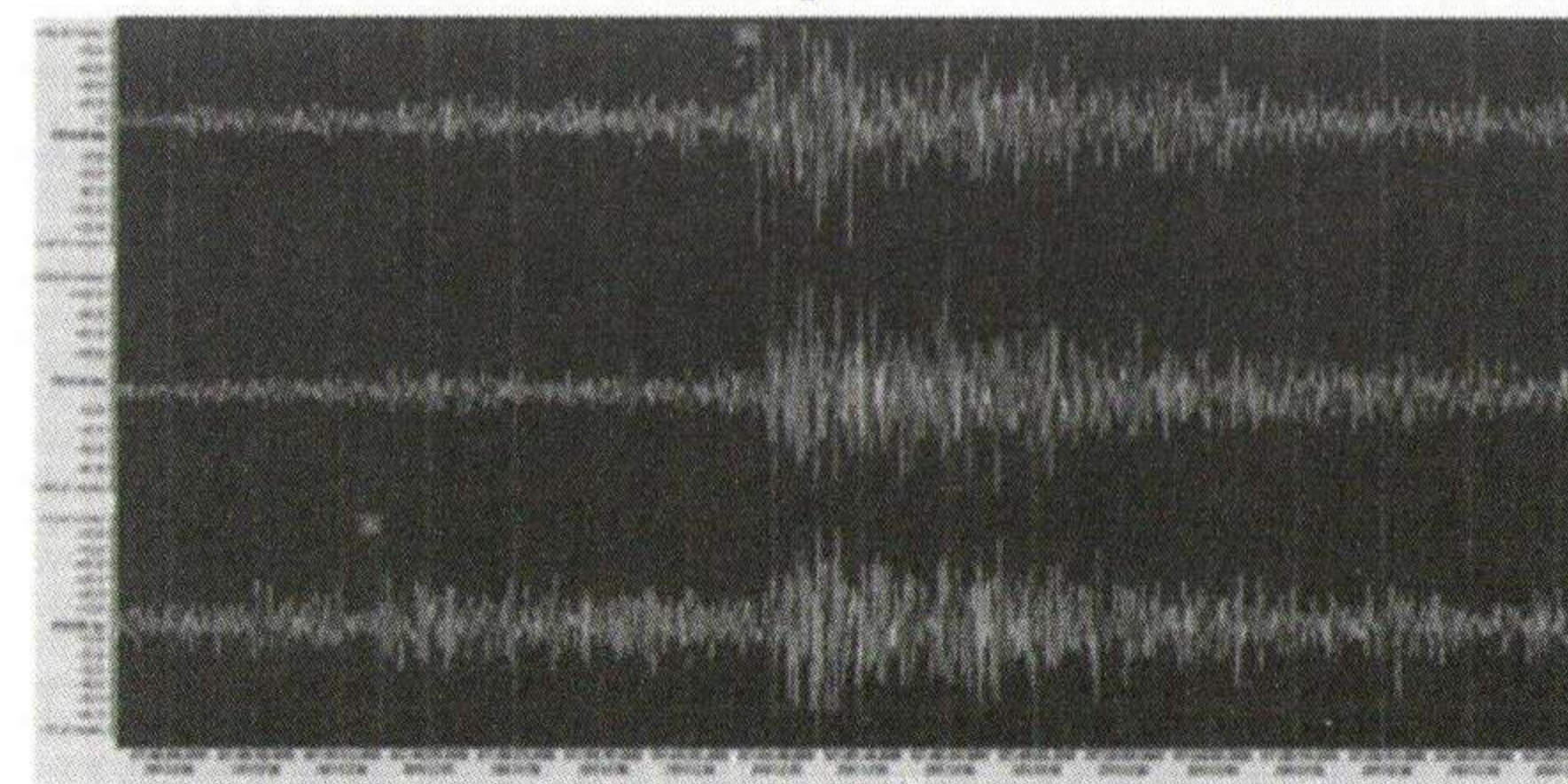


Рисунок 7. Вид записей событий второго класса станцией Подгорная



События второго класса являются коровыми землетрясениями, их количество значительно меньше, чем событий первого класса.

Для исследования были отобраны все сейсмические события первого класса за период 2010-2011 гг., в выборку вошло более 15000 событий. На рисунке 8 приведено построенное по всем событиям распределение времени в очаге ( $T_0$ ) в течение суток. Из рисунка видно, что эти события происходят в любое время суток. Но в ночное время – с 19 часов до 7 часов по местному времени (с 13 до 01 по UTC) их количество вдвое больше, чем дневное. Такая закономерность суточного сейсмического режима отличается от режима тектонических землетрясений и характерна для событий, происхождение которых связано с ледниками [1,3,4]. Суточные вариации количества регистрируемых

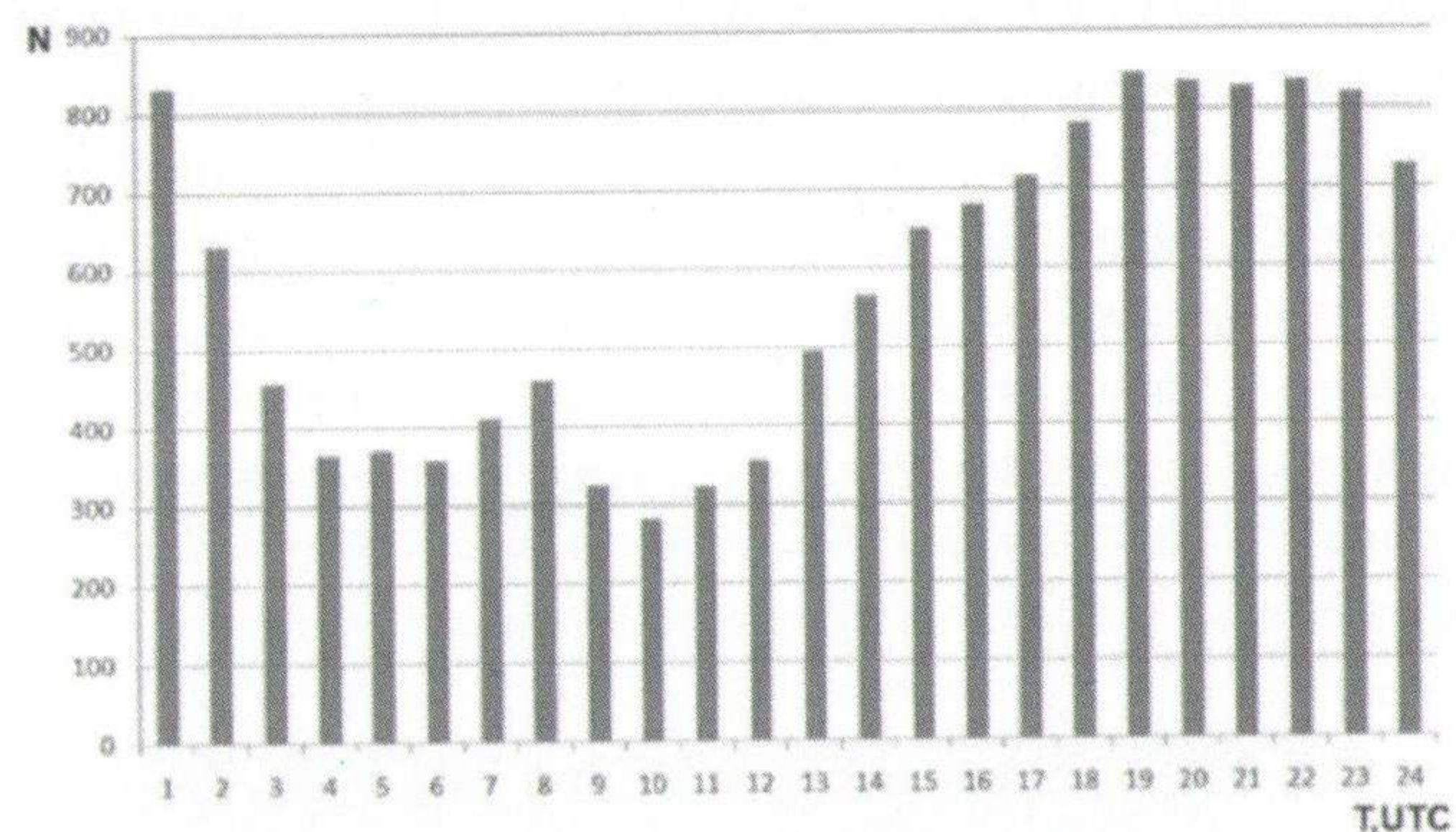


Рисунок 8. Распределение времени  $T_0$  для исследуемых событий

событий в ночное время возможно связано с понижением температуры, что приводит к растрескиванию ледников с излучением сейсмических волн.

Из сделанного предположения о зависимости числа ледниковых событий от температуры, следует, что должны существовать и сезонные вариации регистрации их количества. На рисунке 9 показан график изменения месячного количества событий

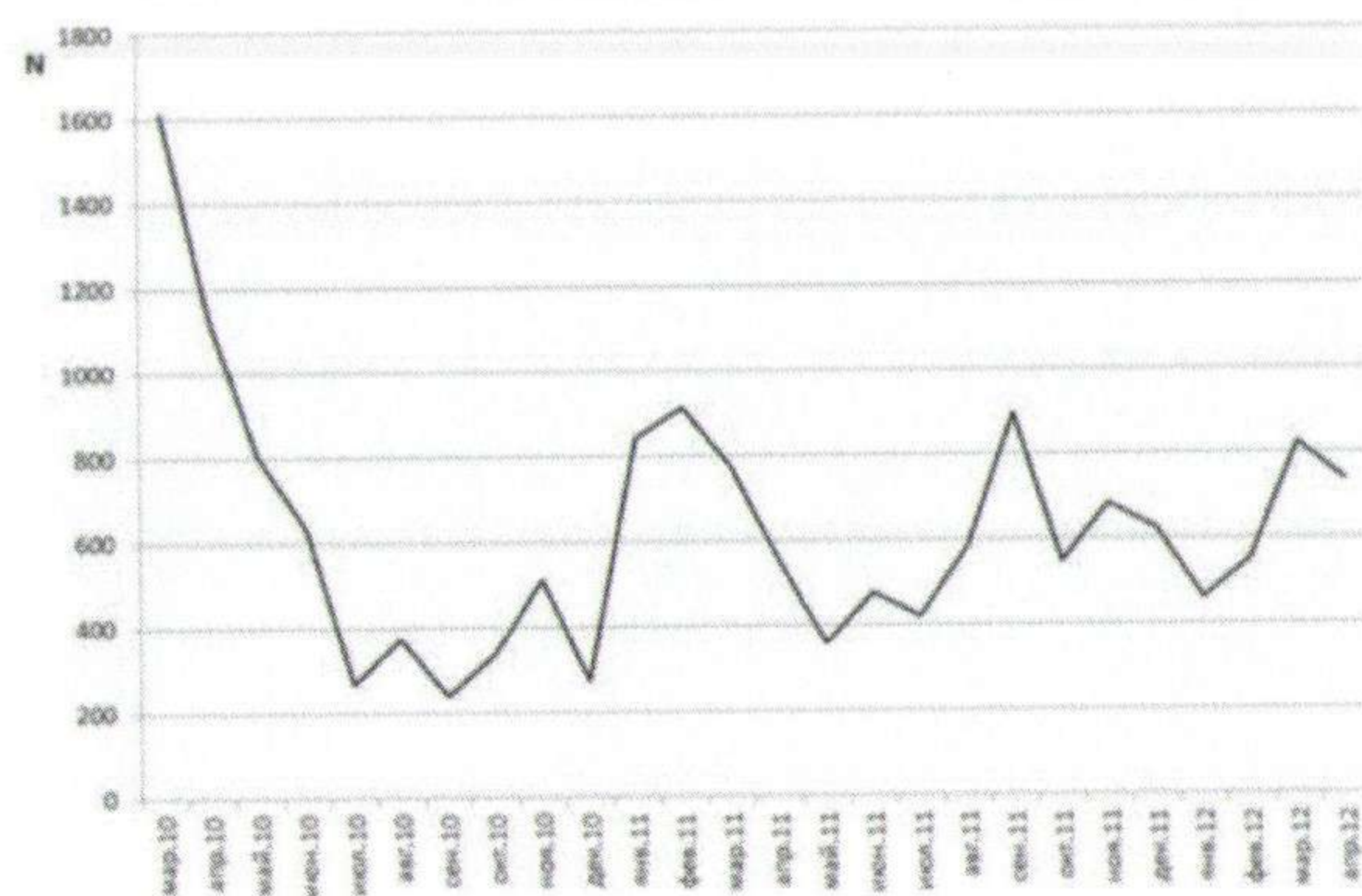


Рисунок 9. График вариации месячного количества землетрясений

первого класса за 2010-2012 гг. (в январе феврале 2010 г. была потеря данных по техническим причинам). Из представленного графика видно, что наименьшее количество значений наблюдается в летние месяцы. Можно отметить некоторое уменьшение количества землетрясений в 2011-2012 гг. относительно 2010 г., однако оно остается гораздо выше, чем в период 2003-2006 гг. Если за весь указанный период максимум, отмеченный в 2006 г. составлял 360 событий, то в 2011-2012 гг. этот уровень соответствует минимальному количеству зарегистрированных событий. Для того чтобы более четко представить ежегодные сезонные вариации количества событий были построены вариационные кривые количества событий, нормированные к годовому максимуму (рисунок 10). Из рисунка видно, что и в 2010 и в 2011 гг. наблюдается

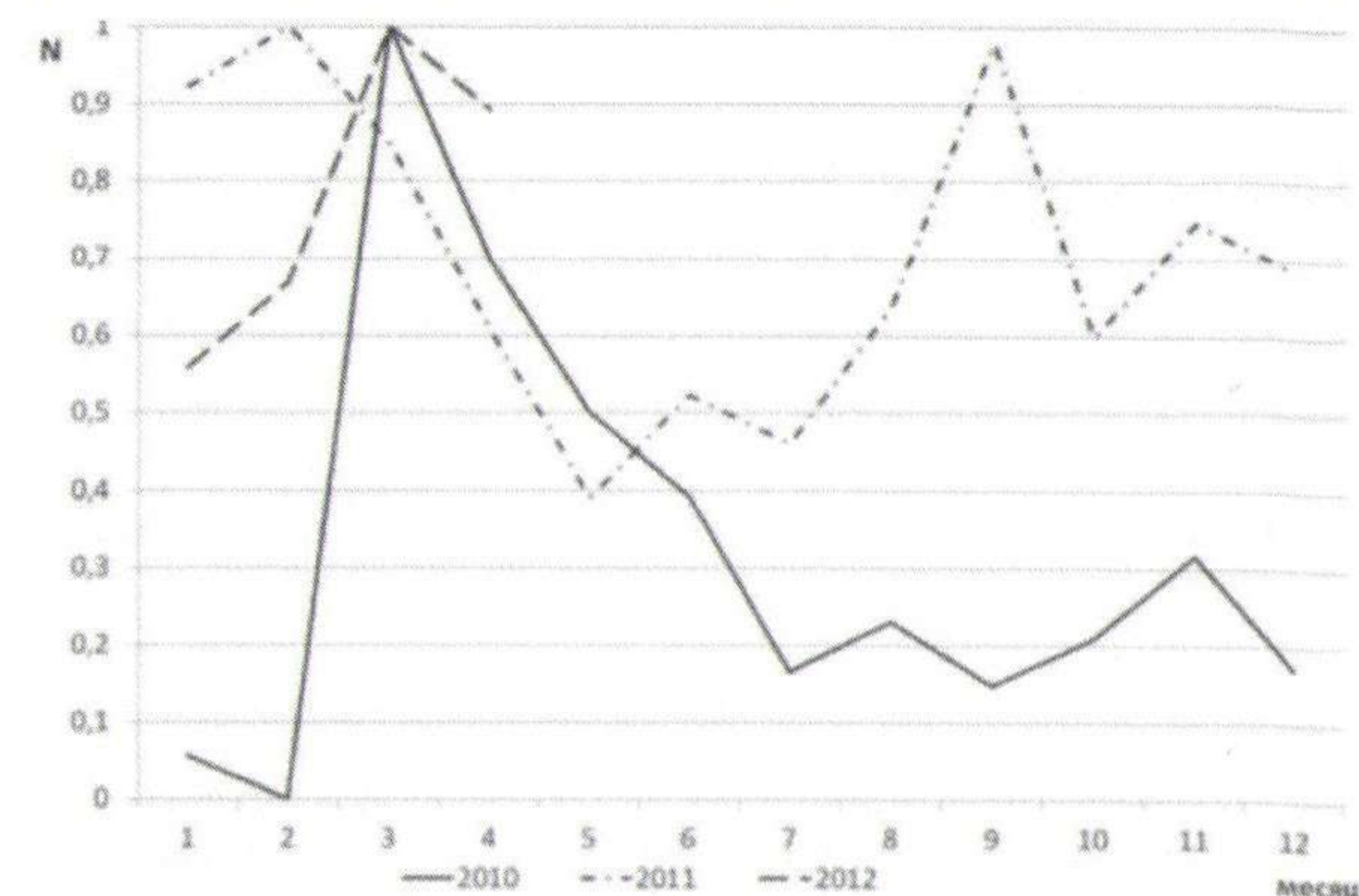


Рисунок 10. Графики изменений во времени месячных количеств землетрясений, нормированные к годовому максимуму

Понижение значений в летние месяцы. Высокие значения в сентябре 2011 г., возможно, вызваны особенностями климатических условий или другими неизвестными нам причинами.

Таким образом, в результате проведенного исследования изменений во времени количества событий первого класса были выявлены суточные и сезонные вариации: с понижением температуры ночью и в зимние месяцы наблюдается рост их числа, при повышении температуры – уменьшение. Такая зависимость от температурных колебаний характерна для событий связанных с процессами, происходящими во льдах.

Результаты анализа особенностей волновых форм и временных позволяют сделать вывод, что сейсмические события из исследуемого района Центрального Тянь-Шаня, вошедшие в выборку относятся к ледниковым. По этим результатам составлен каталог ледниковых событий за 2010-2011 гг. и начала 2012 г.

#### Заключение

В результате проведенного исследования событий из района Центрального Тянь-Шаня: - установлено, что, по особенностям волновых форм все события из исследуемого



района можно разделить на два класса;

- исследованы временные вариации событий первого класса, выявлена их связь с колебаниями температуры;

- на основании найденных особенностей сделано заключение о ледниковой природе происхождения событий первого класса;

- составлен каталог ледниковых событий Центрального Тянь-Шаня за 2010-2011 гг.

Важность проведенного исследования заключается в том, что его результаты позволяют исключать из каталогов тектонических землетрясений события ледникового происхождения, которые иначе могут существенно исказить характеристики сейсмического режима.

#### Литература

1. Михайлова Н.Н., Комаров И.И. Ледниковые землетрясения Центрального Тянь-Шаня. // Вестник НЯЦ РК. – 2009, вып.3. С. 120-127.
2. Сейсмическое районирование Республики Казахстан. Алматы. Изд-во Эверо, 2000г. С. 66-69, 172-173.
3. Ружич В.В., Псахье С.Г., Черных Е.Н., Гранин Н.Г. Деформации и сейсмические явления в ледяном покрове озера Байкал. // Геология и геофизика. 2009, т. 50, №3. С. 289-299.
4. Fabian Walter, John F. Clinton, Nicholas Deichmann, Douglas S. Dreger, Sarah E. Minson, and Martin Funk. Moment Tensor Inversions of Icequakes on Gornergletscher, Switzerland.// Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 99, No. 2A, P. 852–870, April 2009, doi: 10.1785/0120080110

## ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ОЧАГА КАПЧАГАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1 МАЯ 2011 ГОДА

Сейнасинов Н.А., Рябенко П.В.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Целью настоящей работы было построение трехмерной модели очага Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 года с магнитудой  $m_b=5.6$ . Для достижения цели проведены расчеты положения гипоцентров афтершоков с использованием программы huroDD «метод двойных разностей», полученные результаты сопоставлены с данными каталога СОМЭ РК. Построена трехмерная модель очага по уточненным данным с использованием программы “zmap (matlab)”, по результатам расчета исследована закономерность пространственного распределения афтершоковой деятельности.

Самым сильным землетрясением в 2011 г. было Капчагайское землетрясение, произошедшее 1 мая в 08 часов 31 минуту по местному времени, интенсивность которого в Алматы составила 4 – 5 баллов. Особенностью землетрясения 1 мая явилось то, что после него в течение суток регистрировались ощутимые толчки. На веб-сайте Центра данных ИГИ НЯЦ РК [www.kndc.kz](http://www.kndc.kz) в круглосуточном режиме оперативно предоставлялись сведения о регистрируемых толчках.

Положение гипоцентра и магнитуда землетрясения по данным разных центров обработки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Инструментальные характеристики Капчагайского землетрясения 1 мая 2011г.

Источник	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	to, чмс	$m_b$	H, км
USGS(США)	43.543	77.737	2:31:29	5.4	20
EMSC(Франция)	43.63	77.76	2:31:29	5.4	23
ГС РАН (Россия)	43.75	77.69	2:31:28.3	5.1	20
РК (КНЦД+СОМЭ)	43,62	77,70	2:31:28.6	5.6	22

Различие в положении гипоцентра по разным источникам не превышает 0,20 и 0,070 по широте и долготе соответственно и 3 км по глубине. По инструментальным данным РК гипоцентр землетрясения расположен южнее Капчагайского водохранилища в Алматинской впадине на глубине 22 км (рисунок 1). Алматинская впадина это слабосейсмичная зона, мощность осадочного чехла составляет 1 км. Самым сильным событием до толчка 01.05.2011 г. являлось землетрясение 23.08.1960 г. с  $M_s=4$  (рисунок 2). Фокальный механизм главного толчка получен двумя методами: по методу тензора центра момента сейсмического момента (СМТ) в Гарвардском университете и по первым смещениям Р- волн, зарегистрированных сейсмическими сетями РК (НЯЦ и СОМЭ), KNET, CAREMON. По обоим методам в очаге произошел взбросо-сдвиг. Одна из возможных плоскостей имеет северо-восточное простирание ( $str1=252$ ) и крутое па-



дение ( $dip1=640$ ) в северо-западном направлении, другая плоскость северо-западного ( $str2=122$ ) простирания полого падает на юго-запад ( $dip2=380$ ).



1-3-эпицентры: 1- землетрясения 01.05.2011, 2-афтершоков с  $M \geq 4$ , 3- афтершоков с  $M < 4$ ;

Рисунок 1. Карта эпицентров Капчагайского землетрясения и его афтершоков



1 – катастрофические землетрясения с магнитудой  $M_s \geq 7,1$ ; 2 –  $7 \geq M_s \geq 6$ ; 3 –  $6 \geq M_s \geq 5$ ; 4 –  $5 \geq M_s \geq 4$ ; 5 –  $4 \geq M_s \geq 3$ , звездочка – эпицентр землетрясения 1.05.2011 г.

Рисунок 2. Схема расположения эпицентров землетрясений в Северном Тянь-Шане и Джунгарии за весь исторический период

Перед главным событием произошел слабый форшок с  $M=2,5$  за 2.5 часа. После землетрясения было зарегистрировано аномально большое число повторных толчков для такого сравнительно несильного землетрясения, в том числе с  $M \geq 4,5$ . Всего в каталог и сейсмологические бюллетени включено более 200 афтершоков этого землетрясе-

ния, большая часть из которых была зарегистрирована в первые 10 дней. Распределение афтершоков по магнитуде и во времени показано на рисунке 3.

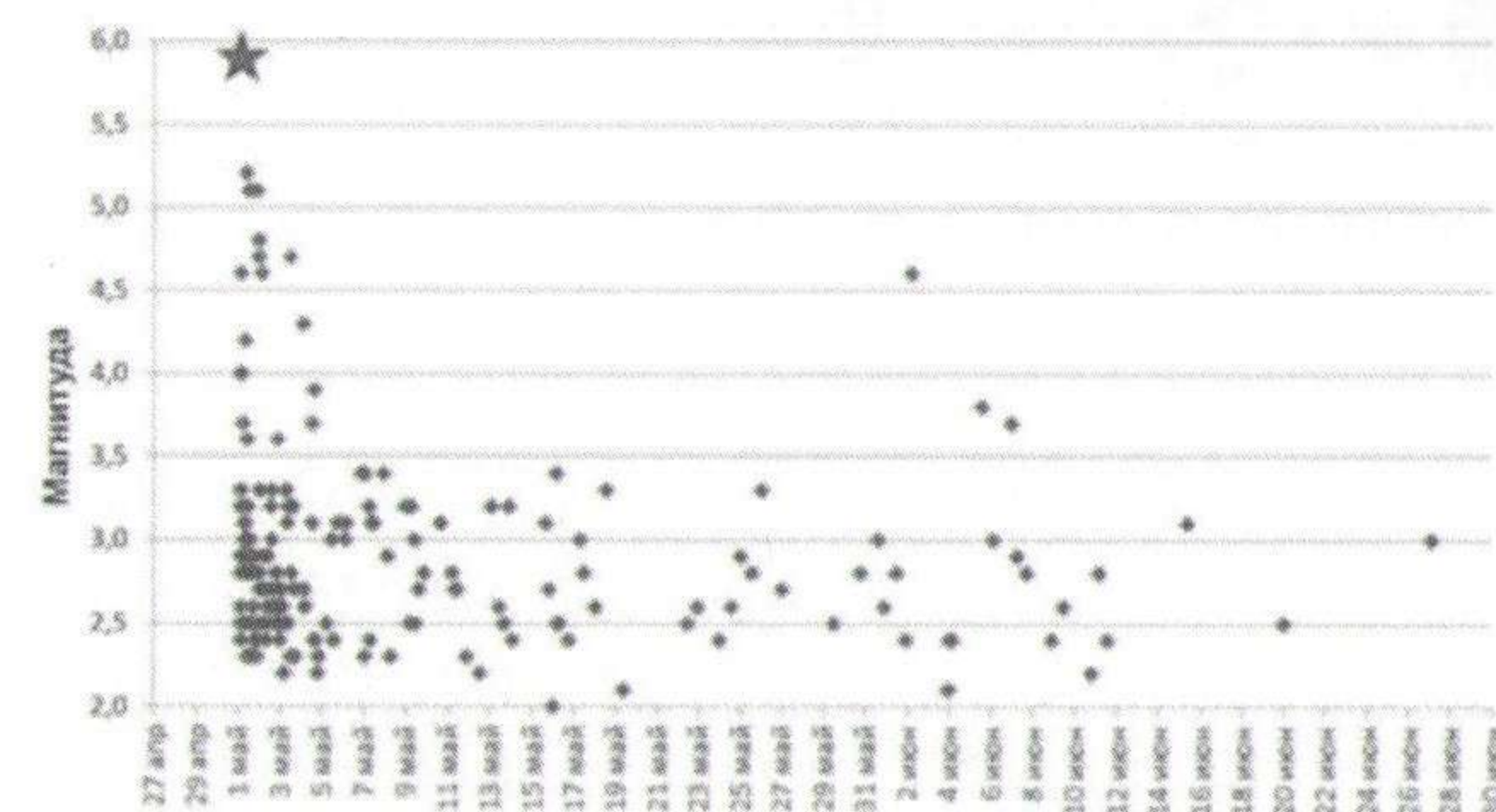


Рисунок 3. Затухание афтершоковой деятельности в очаге Капчагайского землетрясения

По данным сейсмологических бюллетеней КНЦД ИГи НЯЦ РК и СОМЭ МОН РК собрана информация об афтершоках и проведена перелокализация событий методом «двойных разностей». В настоящее время существует большое количество программного обеспечения для локализации гипоцентров землетрясений и уточнения положения гипоцентров, кроме того применение различных скоростных моделей приводит к тому, что на основе одинакового исходного материала о временах вступлений можно получить различное пространственное положение очага сейсмического события. Для глобальных и региональных каталогов такое различие несущественно, однако, для детального анализа очага землетрясения, распределения афтершоковых последовательностей и др. необходимо знать положение гипоцентров с очень большой точностью. Применение метода двойных разностей [2,3,4] для локализации сейсмических событий позволяет минимизировать ошибки определения гипоцентров, и мало зависит от скоростной модели.

Если расстояние между парой событий достаточно мало по сравнению с расстоянием от них до станции, то сейсмические лучи до регистрирующей станции прорезывают практически один и тот же путь с одинаковыми скоростными характеристиками, поэтому разница во времени прихода волн от этой пары событий к сейсмической станции должна быть минимальна (формула 1, рисунок 4).

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^i)^{obs} - (t_k^i - t_k^i)^{cal} \quad (1)$$

где  $i$  и  $j$  – пара сейсмических близкорасположенных событий,  $k$  – номер исследуемой пары событий,  $t_k^{obs}$  – наблюдаемое время прихода волны и  $t_k^{cal}$  – рассчитанное время прихода волны.

При этом, для каждого сейсмического события разница между наблюдаемым и расчётным временем пробега волны может быть представлено в виде формулы 2:

$$\frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial m} \Delta m^j = dr_k^{ij} \quad (2)$$



Подставив (2) в выражение (1) получим:

$$\frac{\partial t_k^i}{\partial x} \Delta x^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial y} \Delta y^i + \frac{\partial t_k^i}{\partial z} \Delta z^i + \Delta \tau^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial x} \Delta x^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial y} \Delta y^j - \frac{\partial t_k^j}{\partial z} \Delta z^j - \Delta \tau^j = d\tau_k^{ij} \quad (3)$$

На основе 3 создается система линейных уравнений для всех пар близкорасположенных событий (4)

$$WGm=Wd \quad (4),$$

где  $G$  – матрица размером  $M$  на  $4N$ , ( $M$  – число двойных разностей,  $N$  – число событий), содержащая частные производные,  $d$  – вектор, содержащий двойные разности (3),  $m$  – вектор  $[\Delta x, \Delta y, \Delta z]^T$  длины  $4N$ , содержащий поправки к координатам гипоцентров, которые необходимо определить и  $W$  – диагональная матрица с весовыми поправками для каждого уравнения.

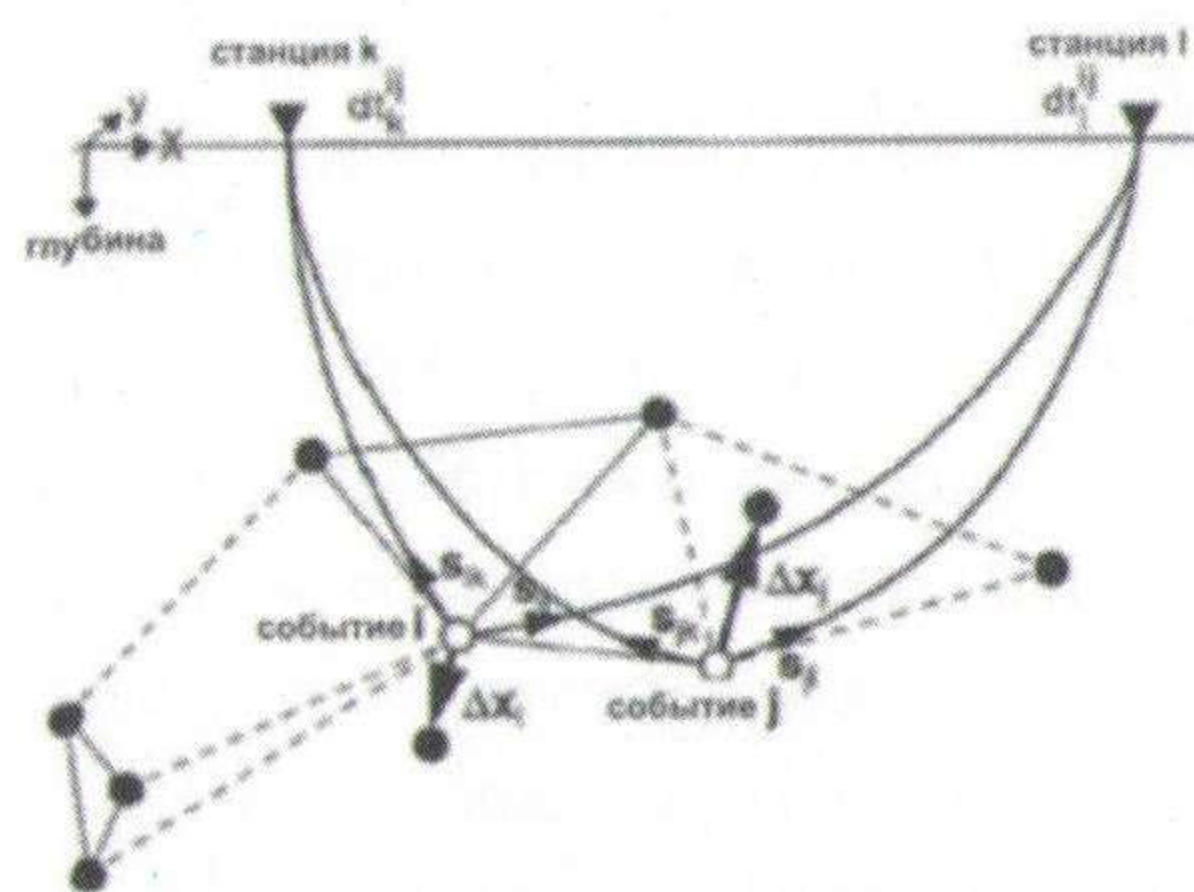


Рисунок 4. Иллюстрация алгоритма двойных разностей из [1]. Залитые и белые кружки представляют тестируемые гипоцентры, связанные с соседними событиями кросс-корреляцией (сплошная линия) или данными каталога (штриховая линия).

На рисунке 4 для двух событий,  $i$  и  $j$  показаны начальное местоположение (незалитые кружки) и соответствующие вектора медленности,  $s$ , соответственно для двух станций  $k$  и  $l$ . Обозначена траектория от источника до станции. Тонкие стрелки  $\Delta x$  указывают на вектор релокации для событий  $i$  и  $j$  полученных из уравнений (3), и  $dt$  – разница времени пробега между событиями  $i$  и  $j$  наблюдаемых на станциях  $k$  и  $l$ .

Алгоритм двойных разностей реализован в программном обеспечении hуроDD, Ф.Вальдхаузером (LDEO, США), которое было протестировано на данных различных районов мира [1-3].

Указанный выше алгоритм был использован при анализе афтершоков Капчагайского землетрясения. В качестве входных данных был использован совместный бюллетень (ЦСОССИ-СОМЭ) основного толчка и афтершоков Капчагайского землетрясения (1 мая 2011 г.). Из бюллетеня были выбраны основной толчок, 207 афтершоков с магнитудой  $m_b \geq 2$ , зарегистрированных 27 сейсмическими станциями на эпицентральных расстояниях до 220 км. Количество замеренных вступлений Р-волны – 17851, вступлений S-волны – 18925. В качестве скоростной модели выбрана модель, построенная по

данным калибровочных химических и ядерных взрывов произведенных на территории Семипалатинского испытательного полигона (рисунок5) [4].

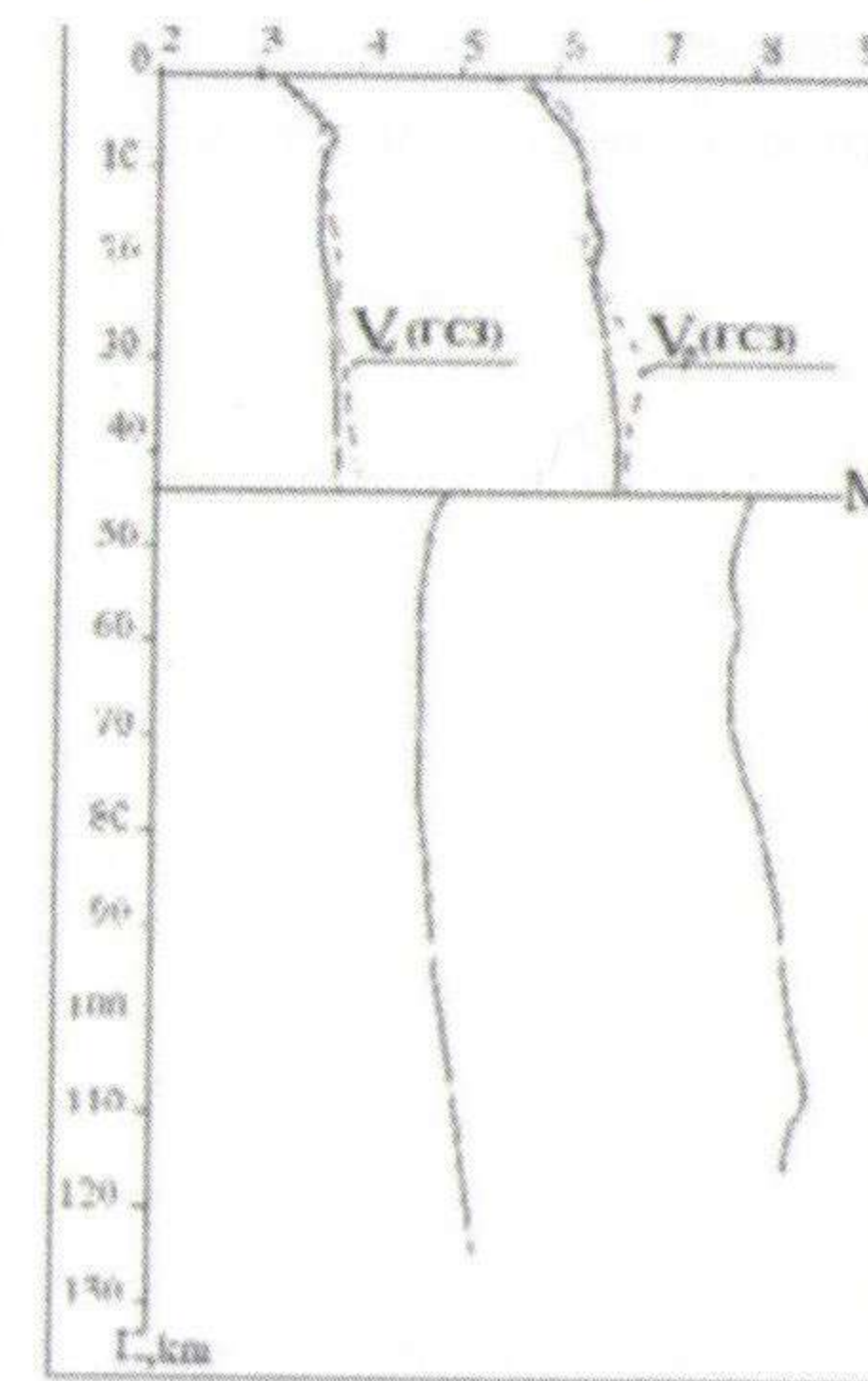


Рисунок 5. Обобщенная скоростная модель продольных и поперечных волн земной коры и верхней мантии для Центрального Казахстана по записям калибровочных взрывов (сплошная линия) и данным ГСЗ (пунктирная линия) [4].

При обработке данных афтершоковой последовательности было сформировано 2 кластера событий, в один было включено 184 события, в другой – 3, таким образом 10% событий было отбраковано. Всего было сделано 20 итераций. Важным показателем точности определения параметров сейсмического события являются характеристики RMS (среднеквадратичная ошибка определения времени прихода сейсмических волн на станцию,  $\Delta x$  – ошибка по долготе,  $\Delta y$  – ошибка по широте,  $\Delta z$  – по глубине). После процедуры применения метода двойных разностей, ошибки определения параметров значительно уменьшились, в таблице 2 приведены сравнительные параметры локализации.

Таблица 2. Сравнительные параметры локализации, до и после пересчета программой hуроDD.

	Количество событий	Средние координаты кластера			Сред. невязка по координатам			Сред. Значение RMS, мс
		широта	долгота	h	dx, м	dy, м	dz, м	
До пересчета hуроDD	208	43.610	77.670	15.5	977	1158	2735	333
После пересчета hуроDD	184	43.609	77.672	15.7	24	21	442	246

По результатам применения метода составлен каталог с уточненными параметрами афтершоков. Проанализированы относительные смещения гипоцентров афтершоков Капчагай-



ского землетрясения после перелокализации методом двойных разностей, среднее значение смещения составляет 5 км, среднеквадратичное отклонение – 3.96. На рисунке 6 приведена гистограмма распределения расстояний между гипоцентрами афтершоков до и после пересчета программой hypoDD, видно, что в основном смещение составляет 2.5-5.0 км.

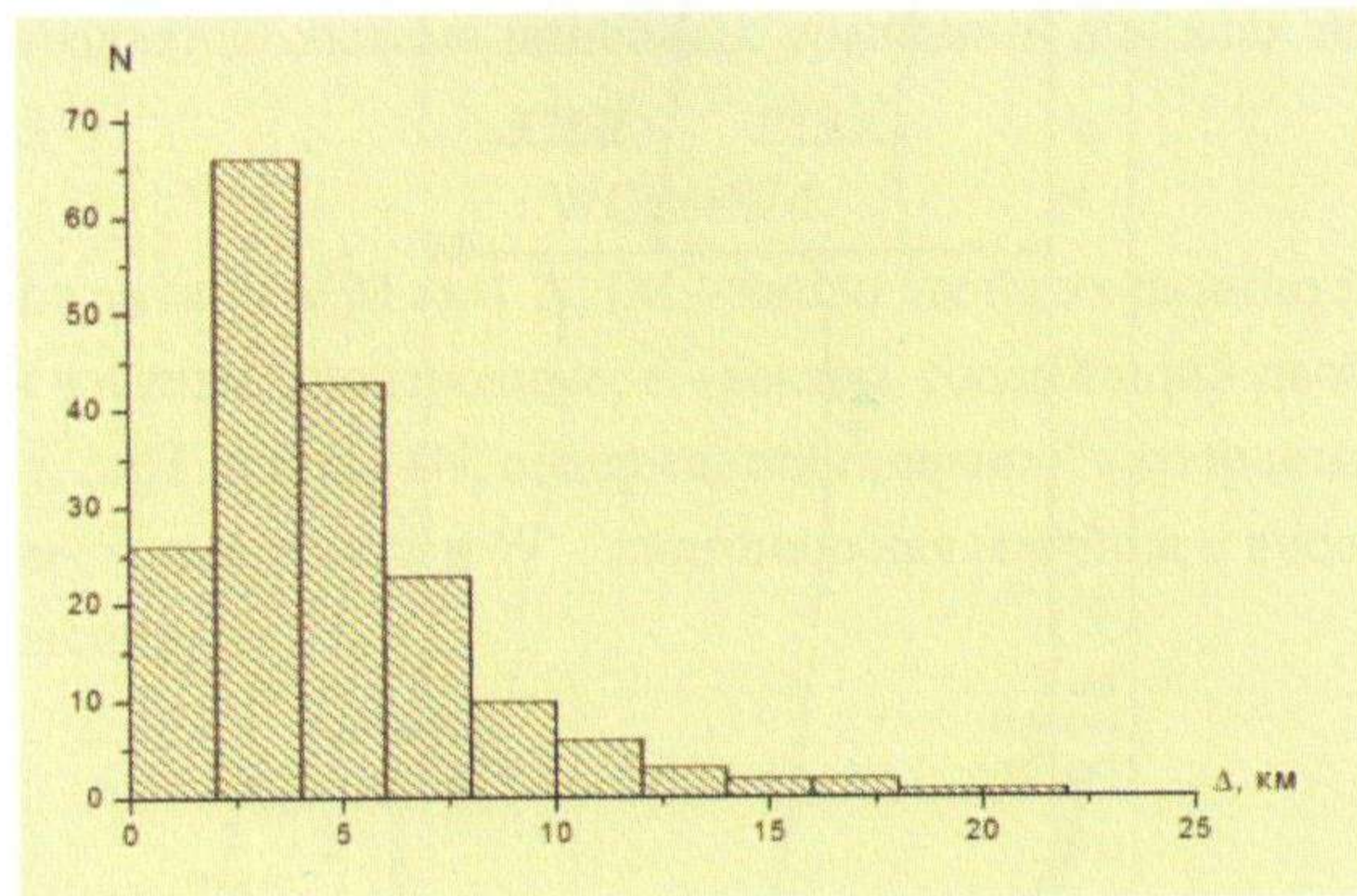


Рисунок 6. Гистограмма распределения расстояний между гипоцентрами афтершоков до и после пересчета программой hypoDD.

По уточненным данным с использованием программы “zmap (matlab)” построена трехмерная модель очага (рисунок 7), которая позволит изучить закономерность пространственного распределения афтершоковой деятельности. Из рисунка видно, что изменения положений гипоцентров по долготе и широте после перелокализации незначительны, в пределах точности расчетов. В большей мере изменилось распределение гипоцентров по глубине: оно стало более равномерным, а диапазон глубин увеличился. То есть по уточненным данным размеры очага увеличились по глубине. Вследствие изменения глубин изменилась форма очаговой зоны: на средних глубинах положение афтершоков стало более компактным, а в верхней и нижней частях очаговой зоны разброс их гипоцентров более значителен. Также, изменилось положение главного толчка относительно облака афтершоков. Основная, наиболее компактная часть афтершоков в новом решении расположена восточнее главного толчка (рисунок 7а), из чего следует, что развитие разрыва происходило с запада на восток. До перелокализации наблюдалась обратная ситуация (рисунок 7 б). Из рисунков 7 в и 7 г видно, что глубина гипоцентров увеличивается при движении с севера на юг, как до, так и после перелокализации, что свидетельствует о падении плоскости разрыва главного толчка в южном направлении при северо-западном простирании. Такая ориентация плоскости разрыва соответствует второй нодальной плоскости в решении механизма очага, имеющей следующие параметры: северо-западное ( $str2=122$ ) простирание, юго-западное падение ( $dip2=380$ ). Почти все гипоцентры повторных толчков расположены выше главного толчка, что согласуется со взбросовым характером подвижки по данным фокального механизма. Таким образом, из проведенного анализа пространственного распределения

афтершоковой деятельности следует, что разрыв в очаге главного толчка произошел по плоскости северо-западного простирания, падающей в южном направлении. Развитие разрыва происходило с запада на восток. Линейные размеры очага изменились только по глубине и составляют  $H=30$ км,  $L=10$ км,  $W=10$  км.

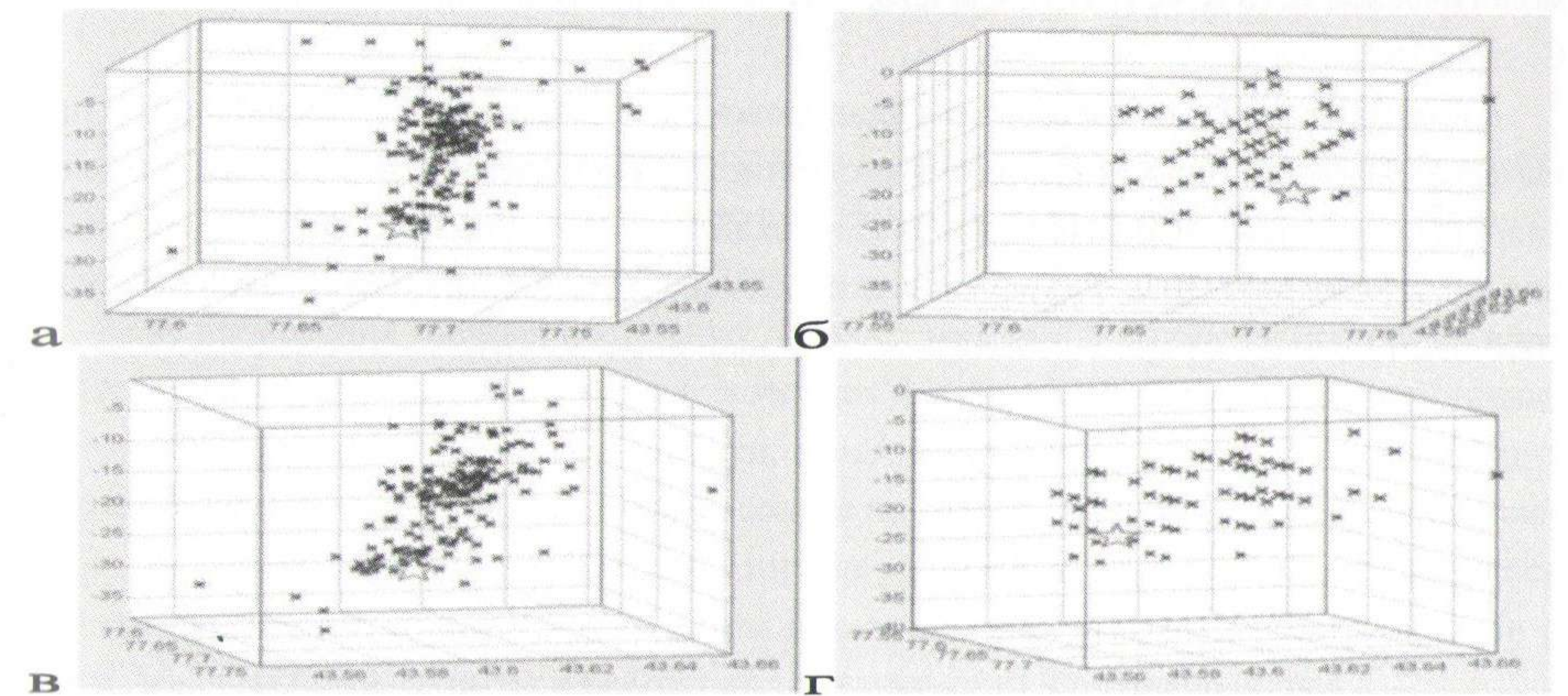


Рисунок 7. Трехмерная модель очага Капчагайского землетрясения по уточненным данным (а, в) и по данным СОМЭ (б, г).

#### Выводы

1. В результате проведенной работы получено уточненное положение гипоцентров афтершоков Капчагайского землетрясения.
2. Построена трехмерная модель очага по уточненным данным с использованием программы “zmap (matlab)”.
3. Исследована закономерность пространственного распределения афтершоков Капчагайского землетрясения.
4. Из результатов анализа трехмерной модели очага следует, что разрыв в очаге Капчагайского землетрясения произошел по плоскости северо-западного простирания падающей на юг, что согласуется с ориентацией и кинематикой Капчагай-Чиликского трансрегионального сдвига. Характер подвижки по плоскости разрыва соответствует типу «взброс». Вспарывание разрыва, с большой вероятностью, происходило с запада на восток. Линейные размеры очага составляют  $H=30$ км,  $L=10$ км,  $W=10$  км.

Авторы выражают признательность Ф. Вальдхаузеру (LDEO, США) за предоставленное мат. обеспечение hypoDD.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Waldhauser, F. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Hayward Fault, California/ F.Waldhauser, W.L.Ellworth // Bull.Seism.



2. Waldhauser F. HypoDD: A computer program double-difference hypocenter locations/ F.Waldhauser // US Geol. Surv. Open-File Rep. 2001. 01-113. 25 p.

3. Сычева, Н.А. Метод двойных разностей при расчете гипоцентров по данным сейсмологической сети KNET/ Н.А. Сычева, С.И. Кузиков // Вестник КРСУ. 2011. Т.11. N 4. С. 109-115.

4. Беляшова, Н.Н. Использование калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне для уточнения скоростного разреза земной коры и верхней мантии/ Н.Н. Беляшова, В.И. Шацков, Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров, З.И. Синева, А.В. Беляшов, М.Н. Малахова // Геофизика и проблемы нераспространения: Вест. НЯЦ РК. 2000. Вып. 2.

## ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛАТО УСТЮРТ

Севериненко М.А., Артемова В.А., Мильц О.С., Левашов М.А., Полешко А.Н.  
Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

Местность, в которой в 70-х годах прошлого века были проведены три подземных ядерных взрыва в мирных целях, находится в 290 км от г. Актау и расположена на плато Устюрт 110 км юго-восточнее п. Сай-Утес.

Цель проведения мирных подземных ядерных взрывов (МПЯВ) на плато Устюрт – создание водохранилищ в провальных воронках и изучение инженерной сейсмологии. Предполагалось, что провальные воронки, образованные обрушенной полостью, будут заполняться из первых водоносных горизонтов на участках расположения боевых скважин, образуя водохранилища. Однако этого не произошло, дно воронок заполнялось талыми водами на короткое время, затем высыхало, превращаясь в такыр. В связи с этим, объекты были закрыты и работы на этой территории не проводились.

### Оценка радиоактивного загрязнения в местах проведения МПЯВ

Особенностью трех ядерных взрывов на плато Устюрт было то, что они прошли без утечки радиоактивности, а уровни излучения, в целом, не превышали фоновых значений.

Для изучения характера радиационного загрязнения территорий, на которых были проведены МПЯВ, силами ИРБЭ и ИЯФ были проведены экспедиционные работы. Целью радиоэкологических исследований являлось изучение распределения радионуклидов в различных объектах окружающей среды, механизмов миграции радионуклидов и определения границ реабилитируемых территорий.

Результаты радиоэкологических исследований показали, что интенсивность гамма-поля на территориях площадок в пределах провальных воронок изменяются от 0,10 до 0,14 мкЗв/ч (рисунок 1), что соответствуют нормальному гамма-фону для данного региона. Содержание искусственных радионуклидов (Цезий-137, Америций-241) во всех отобранных образцах не превышало уровня фоновых содержаний, обусловленных глобальными радиоактивными атмосферными выпадениями.

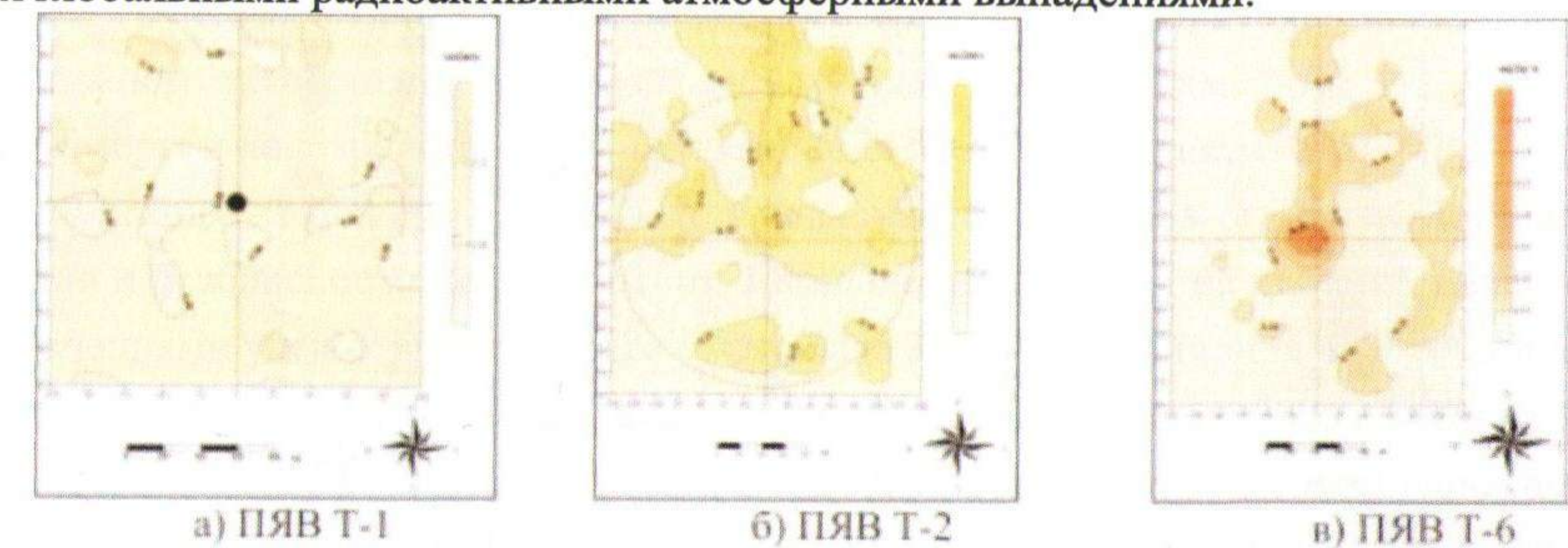


Рисунок 1 – Картограмма гамма-поля на площадках Т-1, Т-2 и Т-6



В рамках радиоэкологических исследований на площадках проведения МПЯВ отмечено два локальных участка радиоактивного загрязнения на площадках Т-1 и Т-6.

### Описание участков радиоактивного загрязнения (УРЗ)

**УРЗ-1.** Загрязнение на площадке Т-1 расположено у наблюдательных скважин и представляет собой пятно неправильной формы диаметром порядка 30 м на поверхности земли. Значения МЭД на поверхности грунта составили до 0,33 мкЗв/ч (рисунок 3).

Грунт песчано-глинистого состава по данным полевой гамма-спектрометрии загрязнен изотопом  $^{137}\text{Cs}$ . В пробе почвы, отобранной послойно с глубин 0-5 см, 5-10 см, 10-20 см, 20-30 см в центре аномалии, удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  составляет 5707 Бк/кг; 1771,9 Бк/кг; 718,1 Бк/кг и 550,9 Бк/кг, соответственно (рисунок 4). К периферии аномалии и с увеличением глубины отбора отмечено снижение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в пробах. Загрязненные грунты не являются радиоактивными отходами и относятся к категории материалов ограниченного использования (МОИ).

**УРЗ-2.** Радиационно-опасным объектом является боевая скважина на участке Т-6. Положительный градиент гамма-поля направлен снизу вверх по скважине, начиная с высоты 1 м от поверхности земли (рисунок 3). Максимальное значение, равное 15 мкЗв/ч, МЭД принимает внутри скважины наверху у бетонной пробки. По данным полевой гамма-спектрометрии основным дозообразующим радионуклидом является  $^{137}\text{Cs}$ .



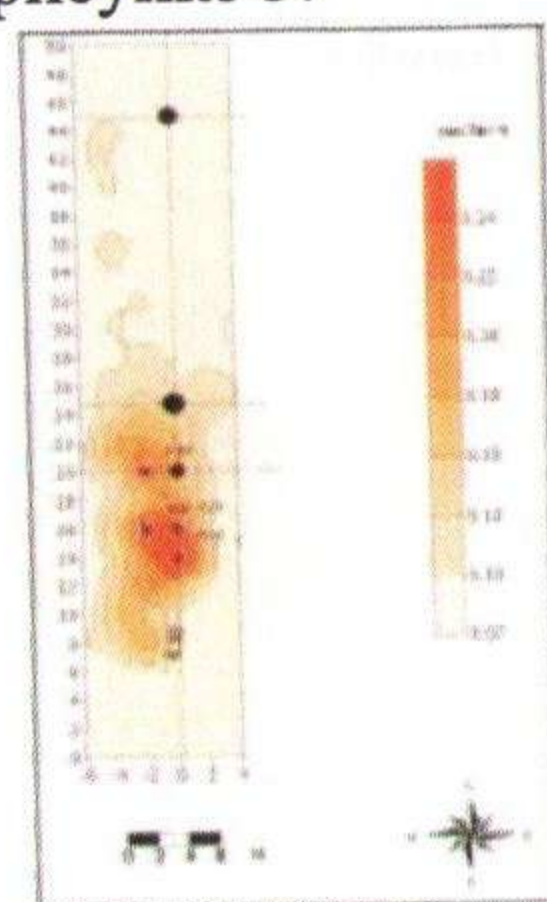
а) Общий вид УРЗ-1



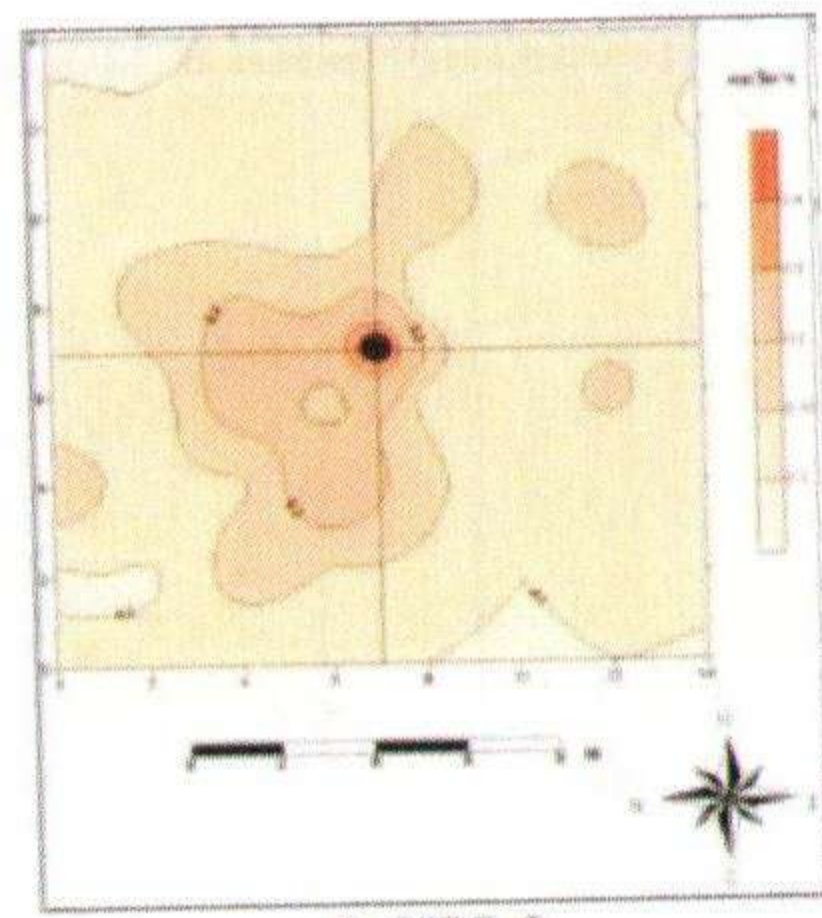
б) Общий вид УРЗ-2

Рисунок 2. Участки радионуклидного загрязнения

Картограммы гамма-поля в пределах участков радиоактивного загрязнения представлены на рисунке 3.



а) УРЗ-1



б) УРЗ-2

Рисунок 3. Картограммы гамма-поля на УРЗ-1 и УРЗ-2

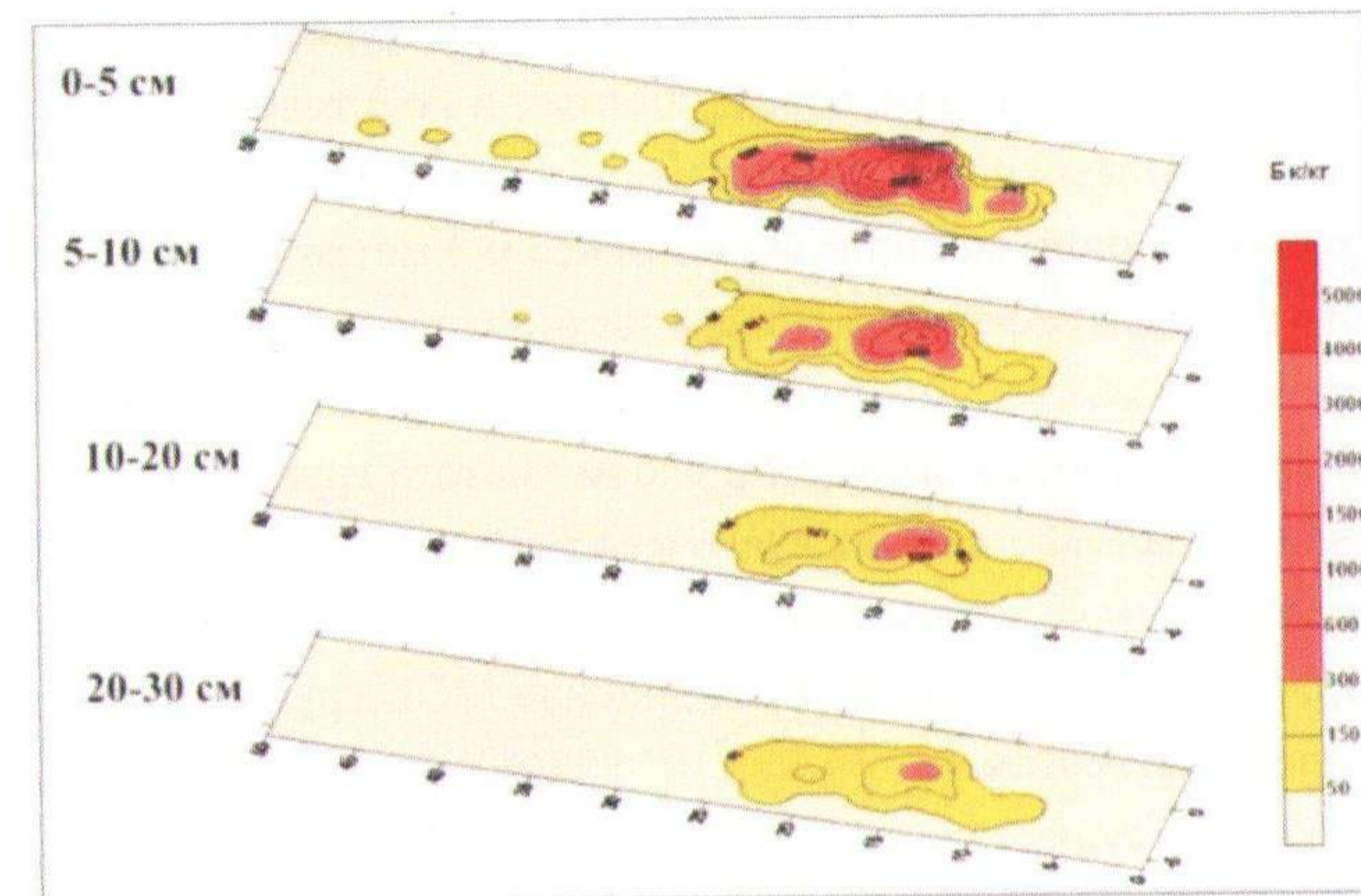


Рисунок 2. Вертикальное распределение изотопа Цезий-137 на УРЗ-1 (Т-1)

Необходимость реабилитации участков ядерных испытаний на плато Устюрт (Мангистауская область) обусловлена следующими причинами:

- подземные ядерные взрывы (ПЯВ) находятся в местах пастбищного скотоводства в районе расположения «летников» и колодцев для скота;
- на большой площади техногенно-измененной площадки процессы самовосстановления идут медленно, что нарушает экологический баланс района;
- ветровая эрозия пятен загрязнения может привести к переносу радионуклидов на большие расстояния;
- согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите наличие потенциально-опасного объекта на территории проживания населения является для него постоянным стрессовым фактором.

### Технические решения по дезактивации участков радиоактивного загрязнения

Для дезактивационных мероприятий на УРЗ-1 принят вариант утилизации МОИ на приустьевой площадке боевой скважины Т-1. Ликвидация УРЗ-1 осуществляется путем выемки загрязненного грунта и отсыпки рекультивируемой площадки радиационно-чистым грунтом. Утилизация загрязненного грунта производится с использованием траншейного захоронения на приустьевой площадке боевой скважины Т-1.

Размеры и конструкция пункта размещения МОИ для дезактивации УРЗ-1 определялись исходя из общего объема захораниваемых материалов ограниченного использования и безопасности ведения работ. Площадь загрязнения на дневной поверхности со значениями удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  более 300 Бк/кг составила 63,7 м<sup>2</sup>, а площадь повышенных значений более 150 Бк/кг – 92,6 м<sup>2</sup>. Объем загрязненного грунта на УРЗ-1, подлежащего захоронению, для обеспечения необходимого уровня радиационной безопасности составляет 13 м<sup>3</sup>. Таким образом, размеры котлована захоронения МОИ составили по низу – 2х3 м; по верху – 5х6; глубина – 3,5 м.



При устройстве пункта размещения МОИ предусматривались мероприятия, обеспечивающие гидроизоляцию его от поверхностных и грунтовых вод, а также противозерозионную защиту. Поверхность дна котлована и боковых частей укрывается слоем водоупорного грунта (глиной) мощностью не менее 0,5 метра и гидрогеохимического барьера на основе гексацианоферрата. Поверхность захораниваемых МОИ укрывается глинистым экраном, а затем каменисто-щебеночным покрытием (не менее 0,5 м мощностью каждого слоя), бетонной защитой и слоем чистого грунта мощностью около 1 м. На дно котлована укладывается в первую очередь грунт с активностью более 300 Бк/кг, а затем сверху укладывается грунт с активностью выше 150 Бк/кг. Изъятый и не использованный при строительстве пункта размещения МОИ грунт, засыпается на место изъятых, на захоронение грунта.

Ликвидация УРЗ-2 осуществляется консервацией оголовка скважины Т-6 для локализации фиксированного радиоактивного загрязнения на пробке скважины путем сооружения вокруг скважины защиты из армированного бетона «Саркофага» с толщиной стенок 1 м. В использованном решении сплошная защита из бетона заменена прямоугольным саркофагом из известняка размером 3х3х2,6 м с толщиной стенок 0,2 м с забивкой внутреннего объема смесью глины и щебня.

Сравнительный расчет защитной способности саркофага вариантов из бетона и известняка показал, что использование в предлагаемом решении в качестве наружного несущего каркаса слоя известняка позволит обеспечить необходимую радиационную защиту с коэффициентом запаса более 100.

Для ограничения доступа населения к объектам, предусмотрено строительство ограждений, а также сооружение рва глубиной 1 м и установка знаков радиационной опасности.

#### Результаты дезактивационных работ

С целью контроля эффективности проведенных мероприятий, после окончания всех работ проведен послерекультивационный контроль, включающий радиометрическую съемку, отбор и лабораторные исследования проб по определению концентрации техногенных радионуклидов.

Результаты радиационного контроля (гамма-съемки) на площадке Т1 (УРЗ1) показали, что радиационные характеристики после рекультивации на участке соответствуют фоновым значениям (рисунок 5). Удельные активности естественных радионуклидов соответствуют фоновым значениям, а удельные активности Cs-137 и Am-241 - значениям глобальных выпадений для данного региона.

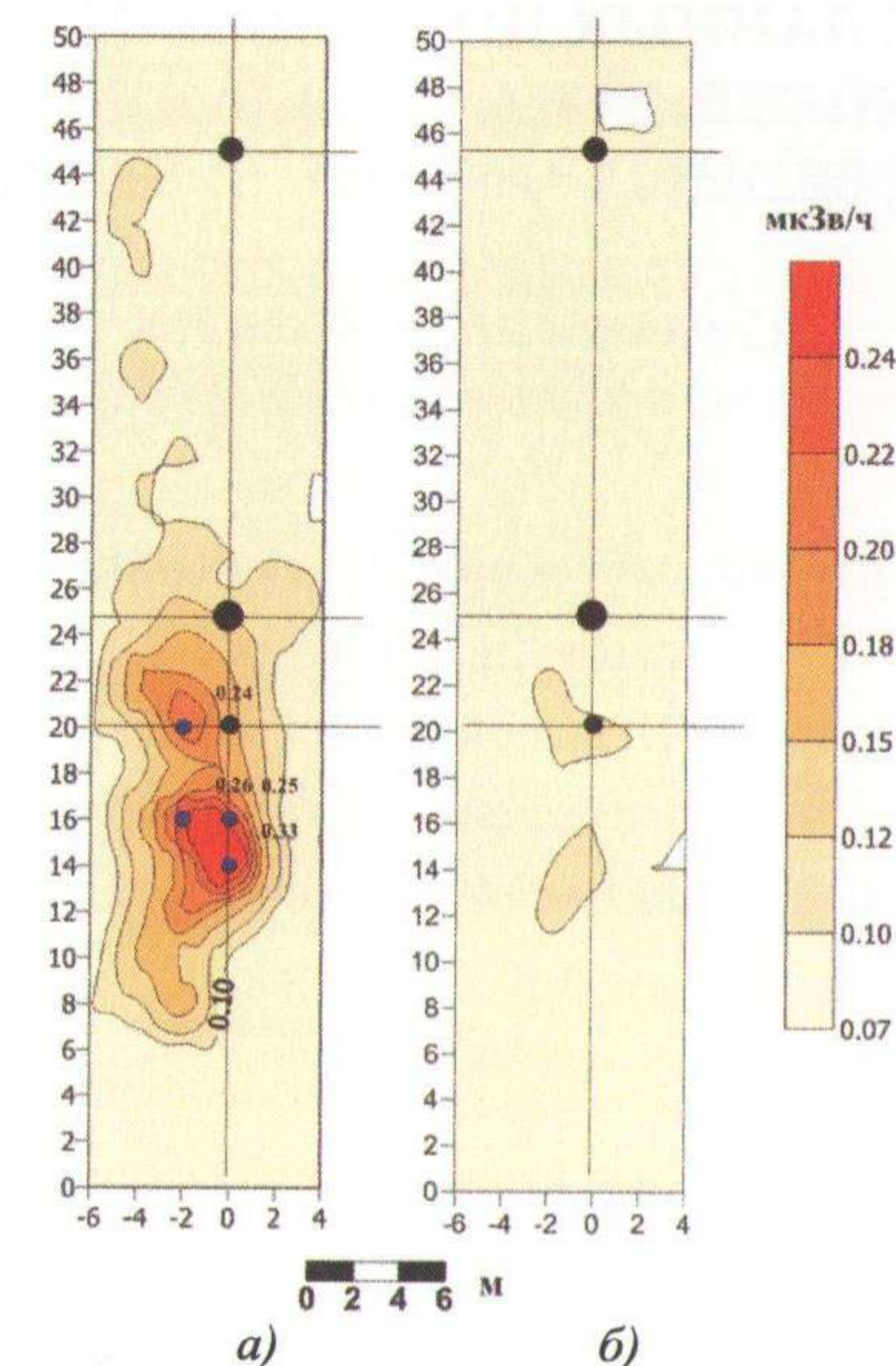


Рисунок 5. Картограммы гамма-поля в районе УРЗ-1  
а) – до рекультивации, б) – после рекультивации

#### Заключение

Реабилитационные работы на территории ядерных испытаний на плато Устюрт в позволили ликвидировать источник загрязнения окружающей среды и привести радиационную обстановку на реабилитируемых территориях к фоновому уровню характерному для данного региона. Проведенные способствуют снижению социальной напряженности путем уменьшения радиофобии среди населения, ведущего хозяйственную деятельность на прилегающих территориях.

Проведенные мероприятия могут применяться для реабилитационных мероприятий на аналогичных территориях в местах проведения мирных ядерных взрывах.



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ПО СИЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЯМ ДЛЯ ПРОГНОЗА ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ КАЗАХСТАНА

Соколов А.Н., Узбеков Р.Б.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Исследованы параметры записей сильных движений, зарегистрированных станциями сети НЯЦ РК с 1997-2012 гг. Для двух станций KNDC расположенной в районе г. Алматы и MAKZ в Восточном Казахстане построены кривых динамичности  $\beta$  (Т). Проанализированы спектры на разных типах грунтов и медианные значения коэффициента динамичности  $\beta$  по обработанным записям сильных движений. Проведено сопоставление формы спектральных кривых  $\beta$  (Т), рекомендуемым СНиП, и полученных по экспериментальным данным.

Для обеспечения сейсмобезопасности будущих ответственных объектов важно изучить возможные параметры воздействий от сильных землетрясений непосредственно на площадке строительства. Для этой цели используются акселерометры сильных движений. Изучение сильных движений очень важно как для научных исследований, так и для практики: для изучения процессов в очагах сильных землетрясений, законов затухания амплитуд воздействий и распространения волн в ближней зоне от источника, кроме того, эти данные необходимы для задания сильных колебаний при проектировании сейсмостойких зданий и сооружений, т.е. для сейсмостойкого строительства. Эти данные представляют большую практическую ценность для прогноза воздействий на площадки строительства ответственных объектов, таких как исследовательские реакторы, АЭС, хранилища радиоактивных отходов и т.д.

Сеть станций НЯЦ РК, регистрирующих сильные движения, состоит из 6 станций, расположенных на юго-востоке (KNDC, PDGK), востоке (MAKZ, KURK), севере (BRVK) и в центральной части Казахстана (OTUK) (рисунок 1). В таблице 1 представлены параметры станций сильных движений, на рисунке 1 карта расположения станций.

Таблица 1. Параметры станций сильных движений сети НЯЦ РК.

Код станции	Широта, N	Долгота, E	h, м	Название станции	АЦП	акселерометр	частота оцифровки, Гц
BRVK	53.0580	70.2828	315	Боровое	Q330	FBA23	1
KNDC	43.2172	76.9658	900	KNDC	Q680	CLA200	40
KURK	50.7154	78.6202	184	Курчатов	Q330	FBA23	1
MAKZ	46.8080	81.9770	600	Маканчи	Q330	FBA-ES-Episensor	40
OTUK	48.2445	72.3378	602	Ортау	DM-24	CMG5T	100
PDGK	43.3276	79.4849	1290	Подгорное	DM-24	CMG5T	100

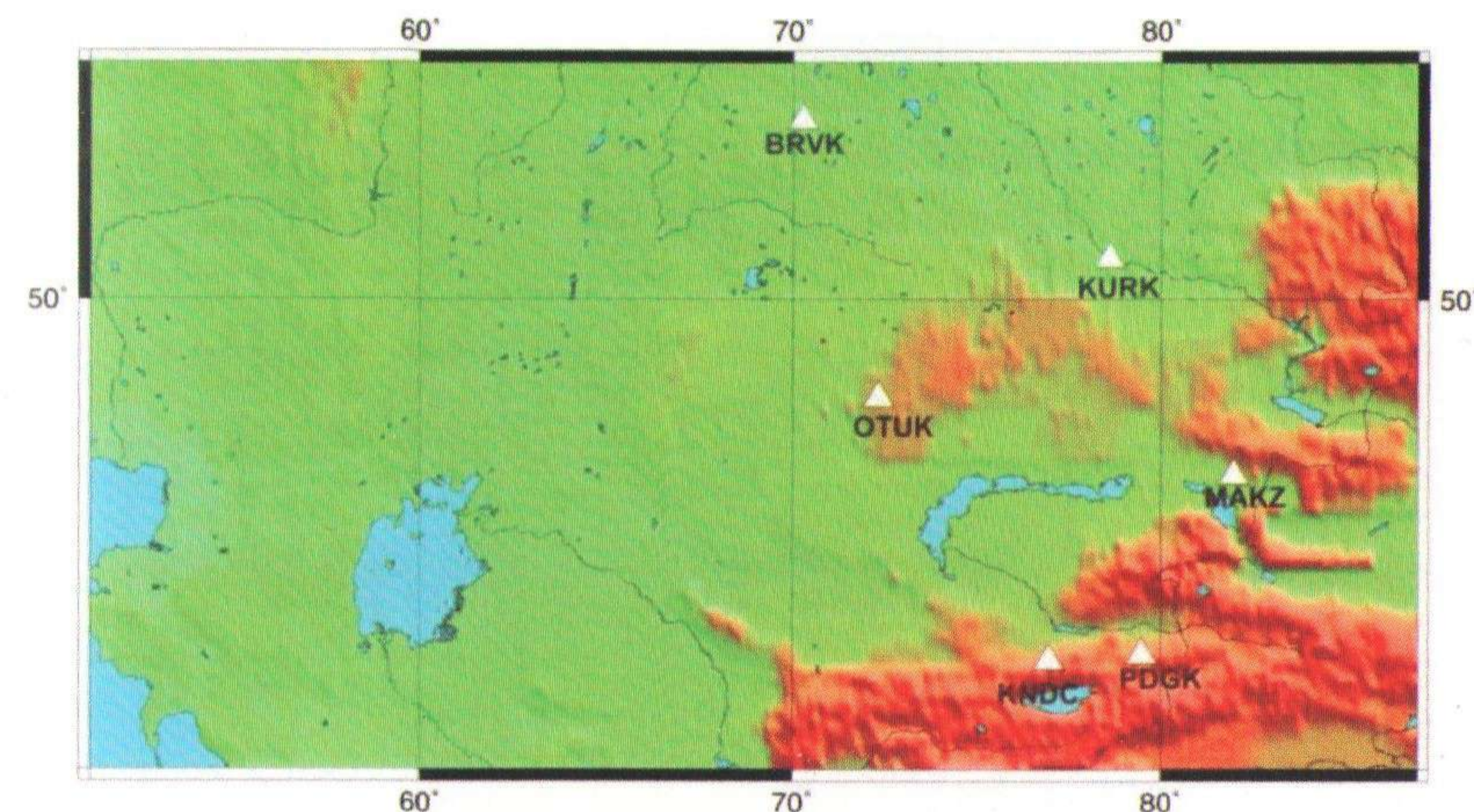


Рисунок 1. Карта расположения станций сильных движений сети НЯЦ РК.

Постоянный мониторинг сильных движений в КНЦД был начат с 2006 г., с этого времени была создана и постоянно пополняется база данных цифровых записей сильных движений. Обработка данных осуществляется при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т.Кашимой [1], которое позволяет проводить визуализацию записи, откалиброванной за характеристики прибора в физических единицах, производить расчет спектра Фурье и спектра реакции для разных значений затухания, производить дифференцирование и интегрирование записей. Спектр реакции представляется в тройном логарифмическом масштабе, что позволяет анализировать одновременно три кинематических параметра. Созданы каталоги параметров записей и соответствующих спектров реакции. В настоящее время база данных содержит информацию по более 70 землетрясениям и 90 записям землетрясений (рисунок 2). В базе данных есть события, зарегистрированные несколькими станциями, например, землетрясение 30 мая 2012 в Алматинской области было записано 5 станциями (рисунок 3). На рисунке 4 представлены результаты обработки события при помощи матобеспечения ViewWave по станции Подгорная, расположенной на расстоянии 224 км от эпицентра. Наибольшее количество записей имеется по станции KNDC. Максимально сильное ускорение зарегистрировано при землетрясении 29.12.2007 г. с  $m_b=4.5$  станцией KNDC на расстоянии 26 км от очага,  $A_{max}(NS)=33.9 \text{ см/с}^2$ .



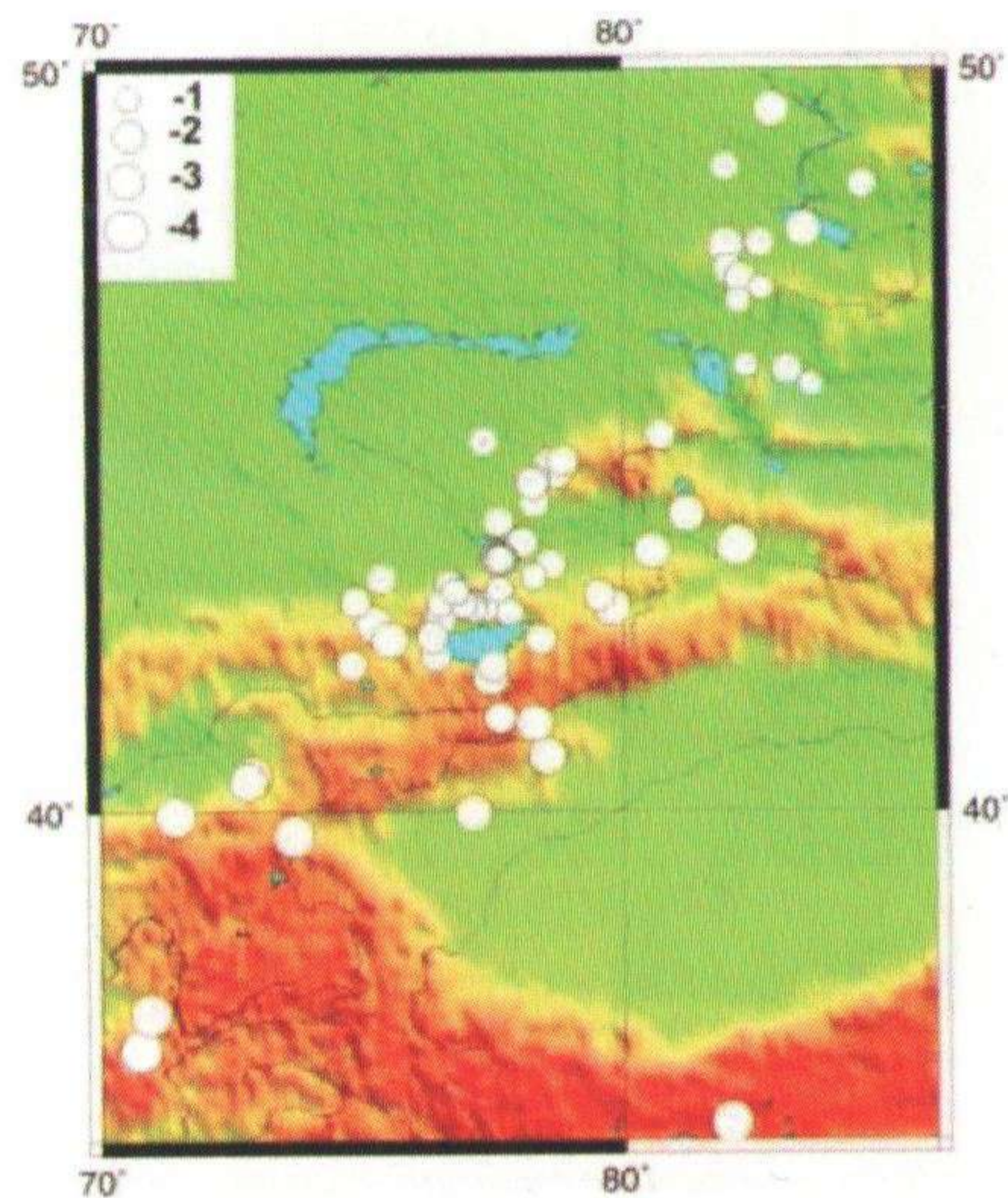


Рисунок 2. Карта расположения эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных сетью сильных движений НЯЦ РК за период 1997-2011 гг., с магнитудами: 1-  $mb < 4$ , 2-  $4 \leq mb < 5$ , 3-  $5 \leq mb < 6$ , 4-  $mb \geq 6$ .

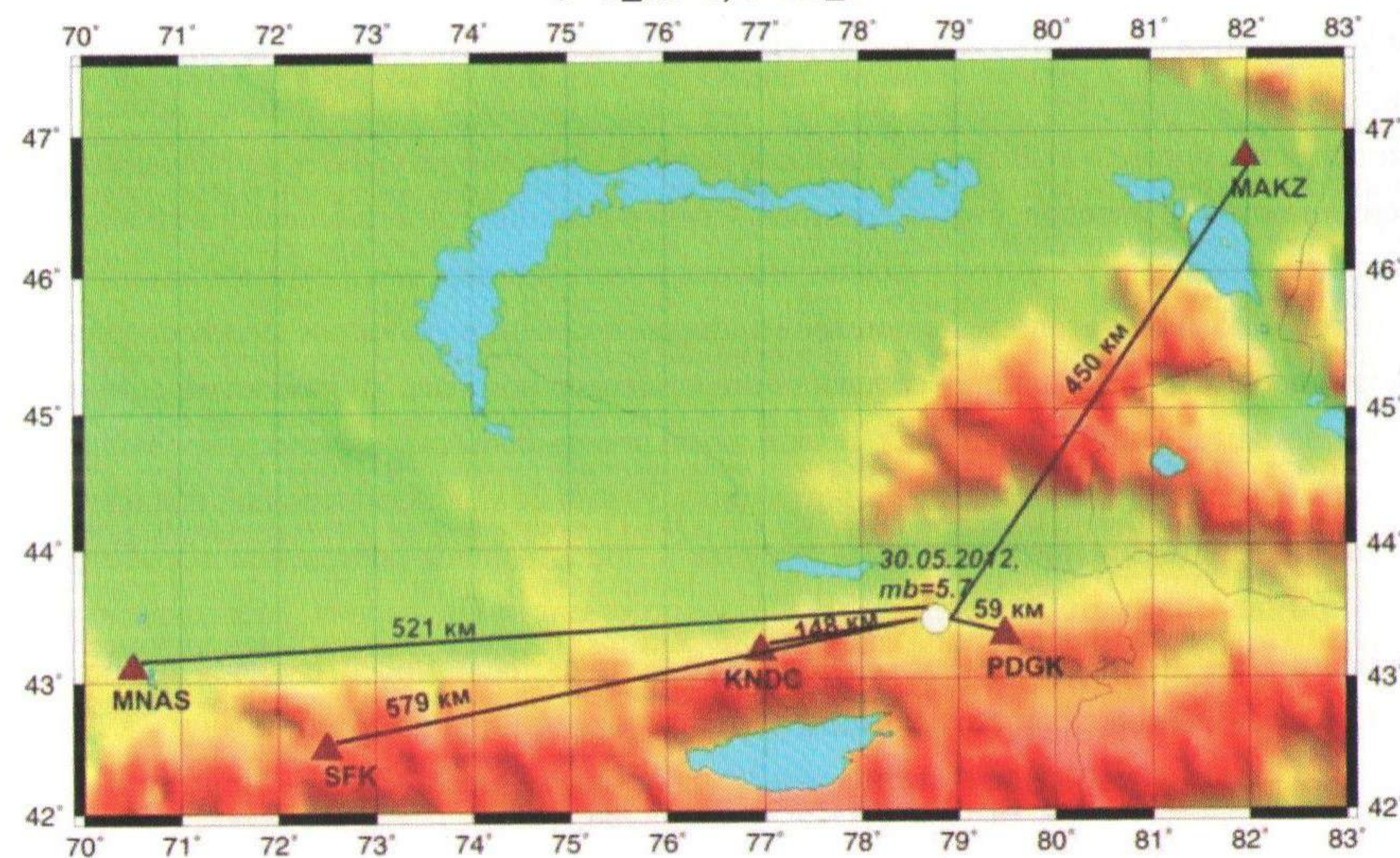


Рисунок 3. Система регистрации Согетинского землетрясения Алматинской области 30 мая 2012 г.  $mb=5.7$ .

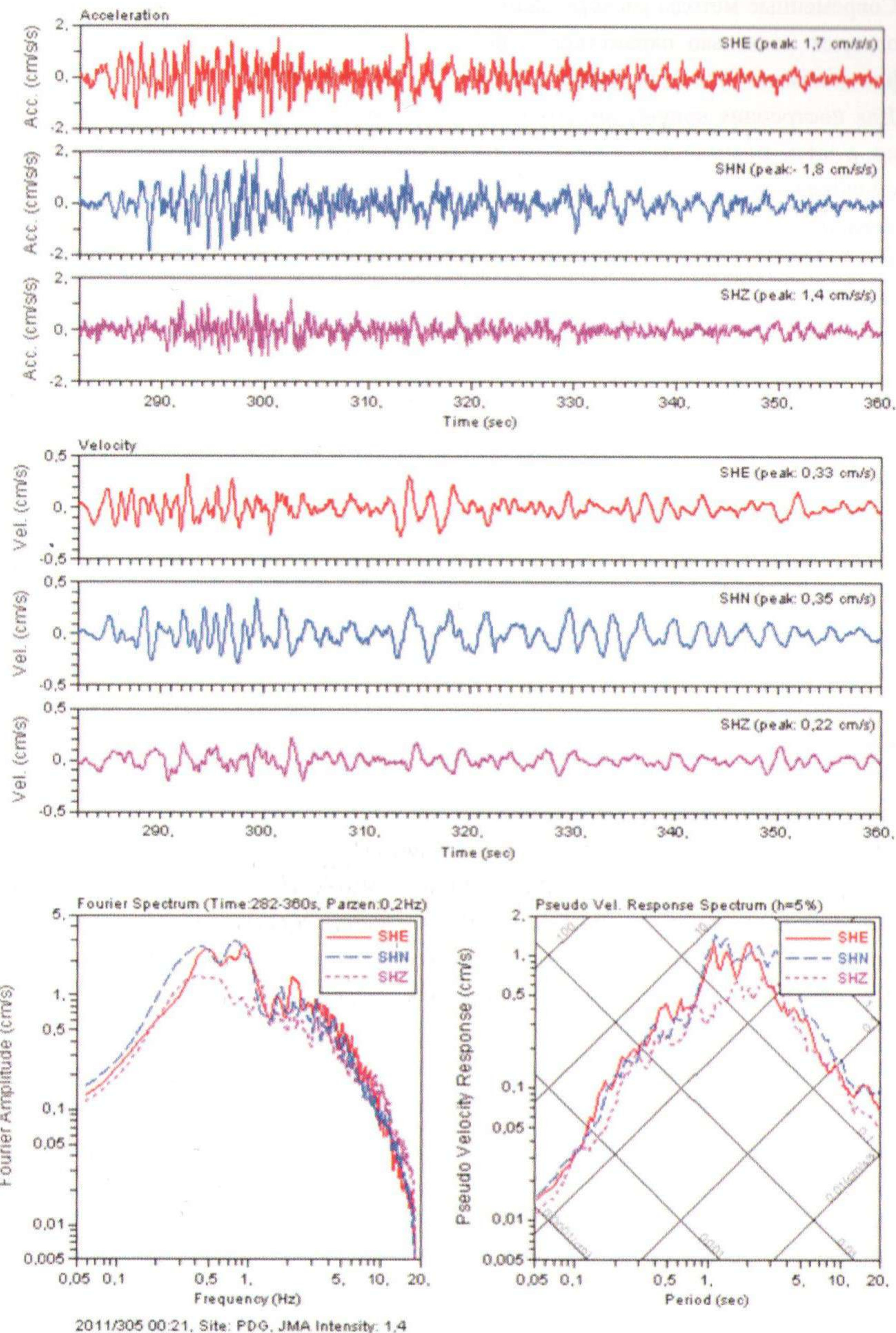


Рисунок 4 - Записи и спектры реакции землетрясения 01.11.2011 г. в 00:21, станция PDGK, эпицентрального расстояния 224 км. Сверху вниз: три компоненты ускорения, три компоненты скорости, спектры Фурье и спектры реакции для затухания 5%



Современные методы расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия используют несколько параметров – интенсивность, повторяемость землетрясений, график динамичности  $\beta(T)$ , связанный со спектральным составом колебаний.

Для построения кривых динамичности  $\beta(T)$  необходимо рассчитать спектры реакции, а затем нормировать к максимальным амплитудам соответствующих акселерограмм сильных движений [2]. Далее рассматривались выборки значений  $\beta$ , по ним рассчитывались значения медиан распределений. Затем от медиан были взяты значения на уровне 0.7, дающие возможность от максимальных перейти к представительным значениям уровня кривых  $\beta(T)$ , как это сделано и в СНиП [3].

По имеющимся данным построены кривые динамичности для двух станций - KNDC, расположенной в г. Алматы, и МАКЗ в Восточном Казахстане с существенно различными грунтовыми условиями, затем построены их огибающие и проведено сравнение с СНиП. На рисунке 5 приведены все кривые динамичности по станции Маканчи. На рисунке 6 аналогичный сводный график кривых динамичности приведен для станции KNDC. Видно, что все графики для разных землетрясений расположены очень компактно. На уровне  $\beta=2.5$  по максимуму все периоды ограничены диапазоном до 0.35с.

Спектральные кривые по KNDC сдвинуты в область больших периодов. Причем все семейство спектров разделяется на две группы. Четыре спектра расположены в наиболее длиннопериодной области. Анализ этих данных показал, что все они относятся к двум землетрясениям, произошедшим относительно далеко от Алматы. Их эпицентры находятся в Южном Тянь-Шане на расстояниях 420-470км. Если не учитывать эти землетрясения, то диапазон периодов на уровне  $\beta=2.5$  от 0.08 до 0.55с. Если учитывать и эти далекие землетрясения, то диапазон периодов увеличивается до 1.3 с.

Сопоставим полученные результаты с имеющимися кривыми динамичности, рекомендуемыми для горизонтальных колебаний по СНиП-2006.

На рисунке 5 приведено сопоставление по станции Маканчи. Красной линией показана кривая динамичности для грунтов 1 категории. Синим цветом показана кривая, огибающая спектры реакции Маканчи, начиная с уровня 2.55, среднего для всех горизонтальных компонент. Данные Маканчи не противоречат СНиП. Даже есть запас по кривым в область больших периодов.

По станции KNDC данные сравнивались со спектральными кривыми для грунтов II и III категории. Красным цветом показаны кривые по СНиП для II категории. Если ограничиться рассмотрением спектров только тех очагов, которые находятся на расстояниях до 250 – 300 км от станции, то кривая  $\beta(T)$  СНиП хорошо удовлетворяет всему семейству. Спектры же самых далеких событий уходят за пределы огибающей для II категории. Они больше соответствуют кривой для III категории грунтов.

После получения дополнительных данных эти кривые могут быть уточнены. Пока же можно сказать, что далекие события не смогут создать на территории Алматы сильнейшие воздействия, на которые рассчитывают здания и сооружения. Поэтому можно считать прогнозные данные по спектрам колебаний СНиП вполне соответствующими для расчетов.

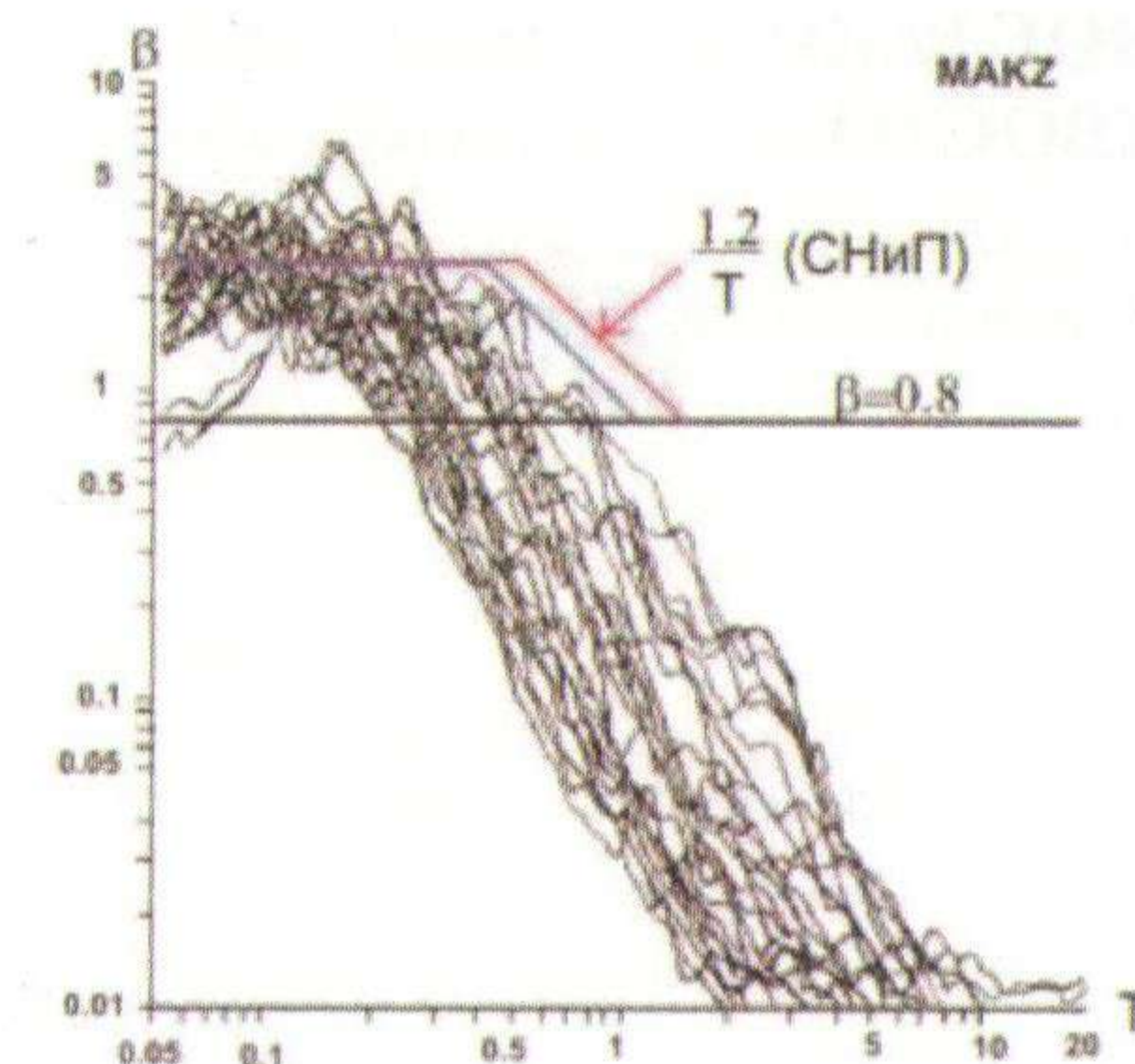


Рисунок 5. Сопоставление данных по Маканчи с кривыми динамичности по СНиП-2006.

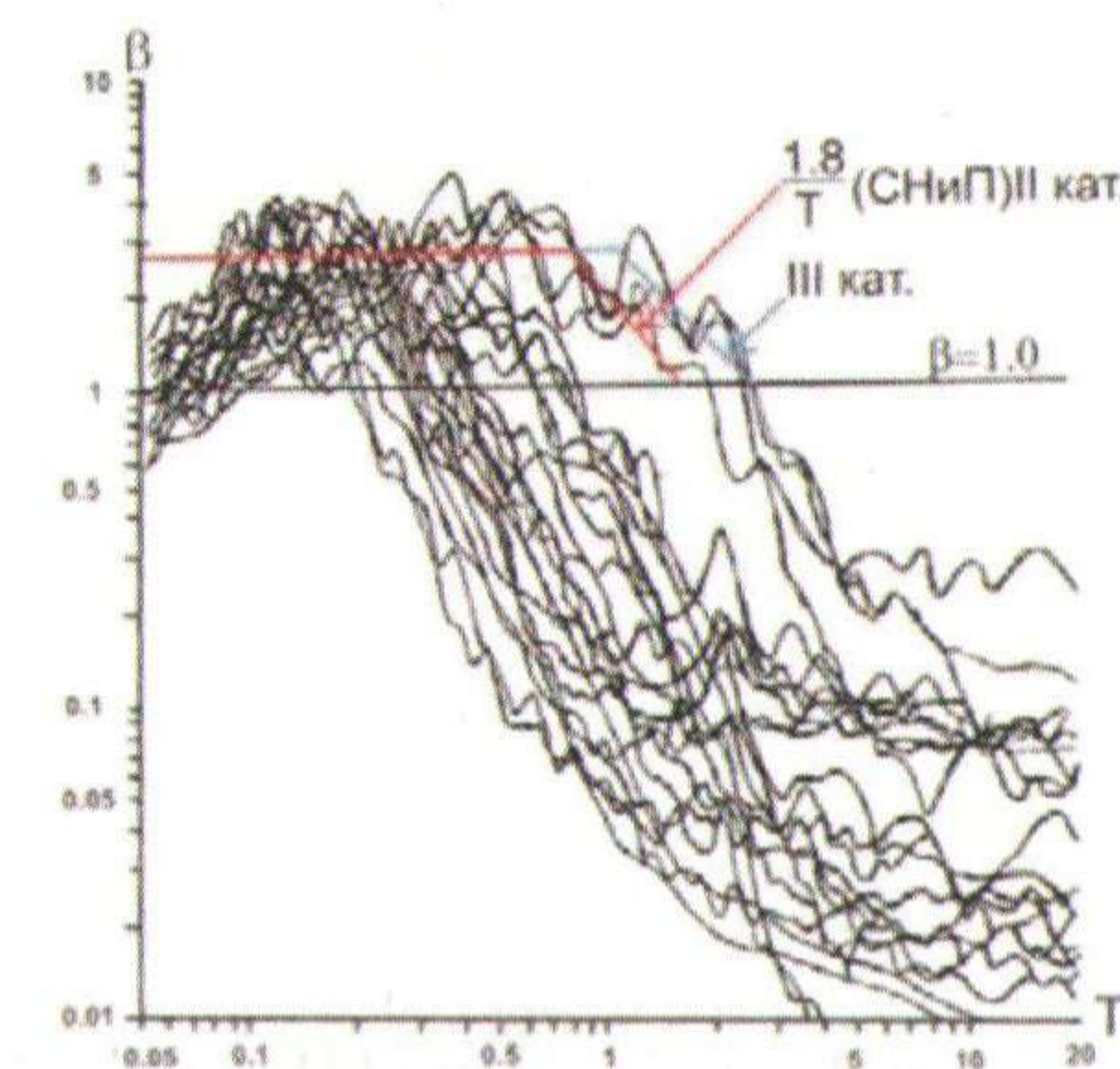


Рисунок 6. Сопоставление данных по KNDC с кривыми динамичности по СНиП-2006.

Полученные результаты следует учитывать как в методическом, так и в практическом аспекте при будущих работах по сейсмическому микрорайонированию территории г. Алматы и при строительстве АЭС и хранилищ ядерных отходов.

#### Литература.

1. Kashima T. 2002. ViewWave Help, PSEE, BRI.
2. Казахский научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт сейсмостойкого строительства и архитектуры (РГП КазНИИССА) при участии ТОО Казахский геотехнический институт инженерных изысканий (ТОО КазГИИЗ), ТОО Институт Проектстальконструкция и Института сейсмологии Министерства образования и науки РК. Строительство в сейсмических районах. СНиП РК 2.03-30-2006. Алматы 2006г.
3. Михайлова Н.Н. Спектральные огибающие как форма задания сейсмических воздействий при нормировании нагрузок на здания и сооружения // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений: Тр ВНИИНТПИ. 2001. № 4.



# СОВРЕМЕННОЕ РАДИАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ УРАНОВОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА «КОШКАРАТА»

Гленчинов Д.Е., Шишков И.А.

АО Волковгеология, г. Алматы, Казахстан, Tlenchinov@mail.ru

## 1. Состояние проблемы

Урановое хвостохранилище Кошкарата расположено в одноименной естественной, бессточной впадине в 8 км восточнее побережья Каспийского моря и в 4–5 км от северных микрорайонов г. Актау (бывший г. Шевченко) и является одной из острейших экологических проблем полуострова Мангышлак, в целом, и города Актау с его прилегающими поселками, в частности (рис. 1).

С 1965 г. бессточная впадина Кошкарата использовалась в качестве хранилища отходов Химико-горнометаллургического завода (ХГМЗ), Сернокислотного завода (СКЗ), а также неочищенных хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих с северных микрорайонов города Актау. В южной части хвостохранилища ХГМЗ до мая 1994 г. проводил захоронение твердых радиоактивных отходов.

По состоянию на 01.01.1999 г. общий объем накопленных твердых отходов составлял 104,8 млн тонн, в том числе радиоактивных отходов 51,8 млн тонн. В течение всего периода эксплуатации хвостохранилища объем сточных вод превышал его испарительную способность, что привело к увеличению зеркала водной части и общей площади хранилища. По своей площади 77,18 км<sup>2</sup> (по состоянию на апрель 1992 г.) хранилище не имеет аналогов в мире.

С прекращением производства на ХГМЗ и СКЗ в 1994 г. сброс отходов производства, разбавленных морской водой, практически прекратился, а испарения с водной поверхности хвостохранилища продолжались, что привело к значительному уменьшению водной поверхности, которая в 2005 г. составляла 33,76 км<sup>2</sup>, т.е. уменьшилась практически вдвое. В связи с этим в южной части хвостохранилища обнажилась значительная поверхность высохших пульпоотходов, образовав “пылящие пляжи”, которые при ветровом переносе токсической пыли представляют собой потенциальную опасность для населения близлежащих поселков и г. Актау.

## 2. Методика мониторинга и его результаты

Мониторинговые исследования проводились по разработанной и согласованной с заказчиками Рабочей программе. Целью работ являлось проведение радиоэкологического мониторинга за пылением радиоактивных и токсичных отходов в районе хвостохранилища с определением приоритетных загрязняющих элементов, областей распространения этих элементов в почвах и приземном слое атмосферы, а также оценкой степени влияния пыления на население близлежащих поселков и города Актау.

В предполетный период было выполнено дешифрирование КФС масштаба 1:50 000 с

составлением экологической карты; в полевой период Рабочей программой было предусмотрено выполнение следующих видов работ:

- проведение экологических маршрутов с радиометрическим сопровождением, намеченных по результатам дешифрирования;
- отбор проб почв и грунтов;
- отбор проб воды;
- отбор проб растительности;
- отбор образцов пыли (воздушных аэрозолей) на фильтры с использованием пробоотборного устройства;

В камеральный период выполнялись лабораторные аналитические исследования, анализ всей полученной мониторинговой информации и написание отчета.

### 2.1. Дешифрирование КФС.

Всего на карте дешифрирования выделено 18 объектов, которые были ранжированы по степени деградации и результаты сведены в таблицу. Основными объектами для мониторинга являются первые шесть объектов. (рис.1)

Наиболее пылящими объектами являются пляжи в северо-западном обрамлении хвостохранилища и зона распространения черных песков (у восточной границы хвостохранилища), а также так называемое “огарковое поле”, карьеры по добыче стройматериалов, новостройка, массив частной застройки. И хотя перечисленные объекты являются основными источниками пыления (степень деградации на них – от 30 до 80%), они не столь опасны по сравнению с самим хвостохранилищем.

Доля пылящих площадей в пределах хвостохранилища не велика (3–7%), однако, учитывая тот факт, что оно является вместилищем радиоактивных отходов (РАО), хвостохранилище представляет угрозу здоровья населения, проживающего в г. Актау и близлежащих поселках.

### 2.2. Загрязнение почв

Основными источниками загрязнения приземного слоя атмосферы являются деградированные поверхности почв и грунты, образованные при сбросе отходов.



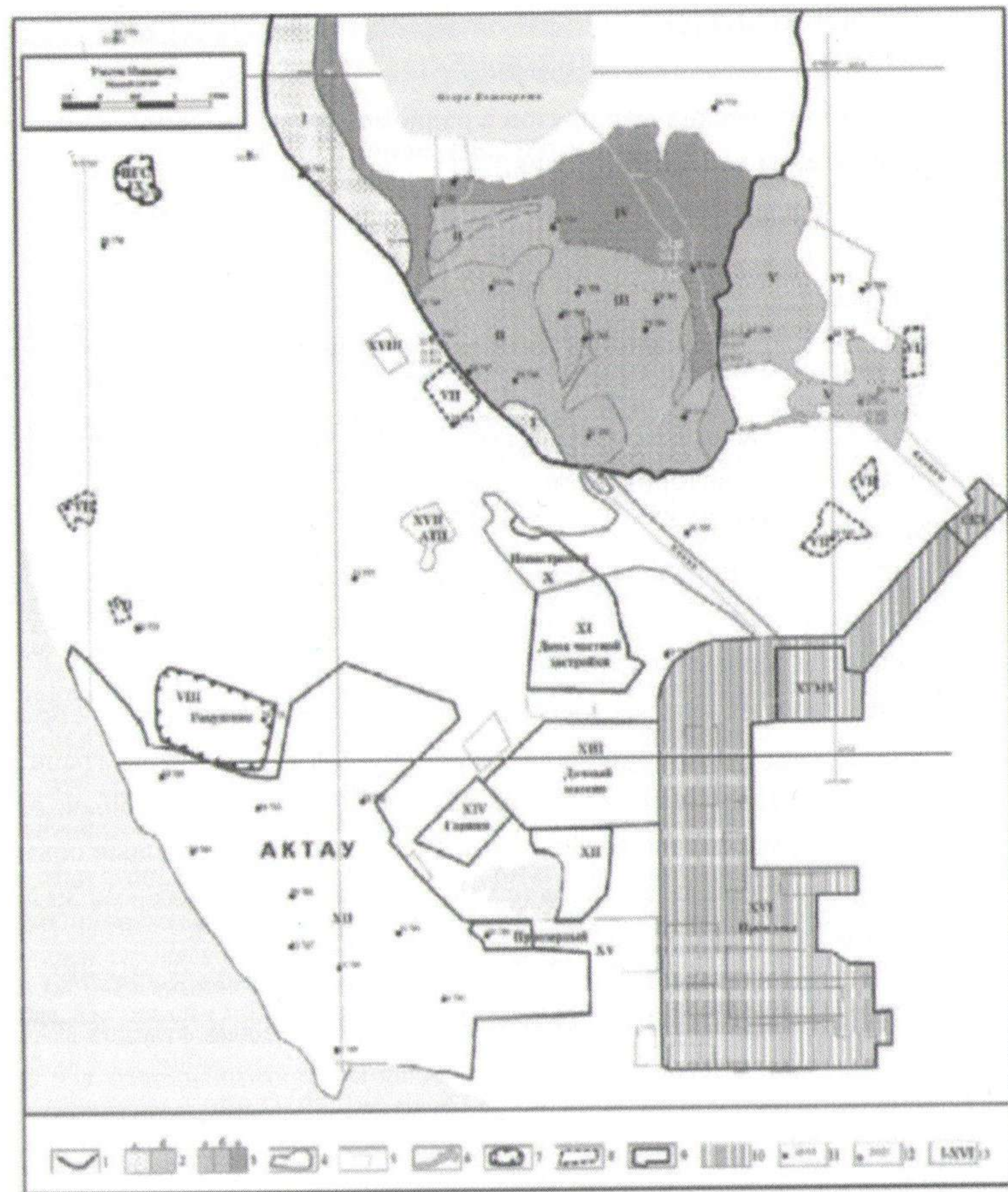


Рис.1 Карта дешифрования космofотоснимка района работ: 1 – контур хвостохранилища Кошкарата (“старая” береговая линия); 2 – “пляжные” мелкозернистые пески: а – светлые, буровато-желтые; б – темно-коричневые (участок огаркового поля); 3 – корка, покрывающая дно хвостохранилища: а – существенно гипсо-солевая, белого цвета; б – более-гипсо-фосфатная, светло-серой окраски; в – гипсо-фосфатная, серой окраски; 4 – контуры объектов интенсивного пыления; 5 – ручьи, каналы; 6 – болота и заболоченные участки; 7 – карьеры строительных материалов; 8 – контуры городских свалок; 9 – контуры жилых и дачных массивов, новостроек, гаражей и пр.; 10 – контуры промышленной зоны; 11 – точки отбора литохимических проб и их номера; 12 – точки отбора проб аэрозолей и их номера; 13 – номера контуров по результатам дешифрования

Всего было отобрано 50 проб, точки отбора вынесены на карту фактического материала. Пробы проанализированы на суммарную альфа-активность, выполнен химана-

лиз на рН, плотный остаток, методом ICP-MS определены основные тяжелые металлы и токсиканты, 20 проб в северо-восточной части от хвостохранилища были проанализированы на гамма-спектрометрический анализ.

Пробы грунта и почв были сгруппированы в соответствии с зонами дешифрования. По каждой группе были рассчитаны средние значения концентраций химических элементов, определенных масс-спектрометрией и рентгеноспектральным флуоресцентным анализом, суммарной удельной альфа-активности радиометрическим анализом

Аномальные проявления химических элементов увереннее выделяются при сравнении с их фоновыми значениями. При сопоставлении концентраций химических элементов для разных зон определено, что наиболее устойчиво низкими значениями в исследуемом районе являются концентрации в точках отбора 1002 и 1003 на северо-западном направлении от хвостохранилища.

Все осредненные концентрации каждого химического элемента по каждой зоне воздействия и влияния были соотнесены к средней концентрации соответствующего химического элемента в северо-западной зоне от хвостохранилища. По каждому химическому элементу находилось максимальное отношение  $C_i/C_{\phi i}$ , а затем все ряды химических элементов ранжировались по возрастанию найденных максимальных отношений. В последующем химические элементы группировались по следующим значениям максимальных отношений:  $0 \div 8,999$ ,  $8 \div 15,999$ ,  $16 \div 24,999$  и более 24. По каждой зоне в каждой группе рассчитывался коэффициент концентрирования (загрязнения) по формуле:

$$I_{ij} = \sum \frac{C_{ij}}{C_{\phi i}} - (n - 1),$$

- n – количество химических элементов, входящих в группу,
- i – порядковый номер химического элемента в группе,
- j – порядковый номер зоны воздействия и влияния.

Аналогично был рассчитан индекс концентрации (загрязнения) химических элементов для всего набора химических элементов, и построены графики индекса, как для отдельного элемента или группы химических элементов, так и для всего набора химических элементов (рис.2).

Рассчитанный индекс загрязнения можно соотнести с показателем загрязнения для экзогенных химических веществ, определенным п.5 «Критериев оценки экологической обстановки территорий», утвержденных Постановлением Правительства РК от 31 июля 2007 г. № 653. Этот показатель приравнен условно к индексу концентрирования по всем группам за вычетом индекса первой группы, которую составили, в основном, химические элементы с преобладающими фоновыми концентрациями, поскольку практически для большинства химических элементов до сих пор не разработаны ПДК для почв и грунтов. Максимальный показатель загрязнения составил 392 для огаркового поля и 155 для черных песков. Эти две зоны в соответствии с п.5 «Критериев...» следует отнести к экологически-бедственным зонам. Прилегающие зоны: солевая, гипсо-солевая и восточная от хвостохранилища – к зонам с чрезвычайной экологической ситуацией.



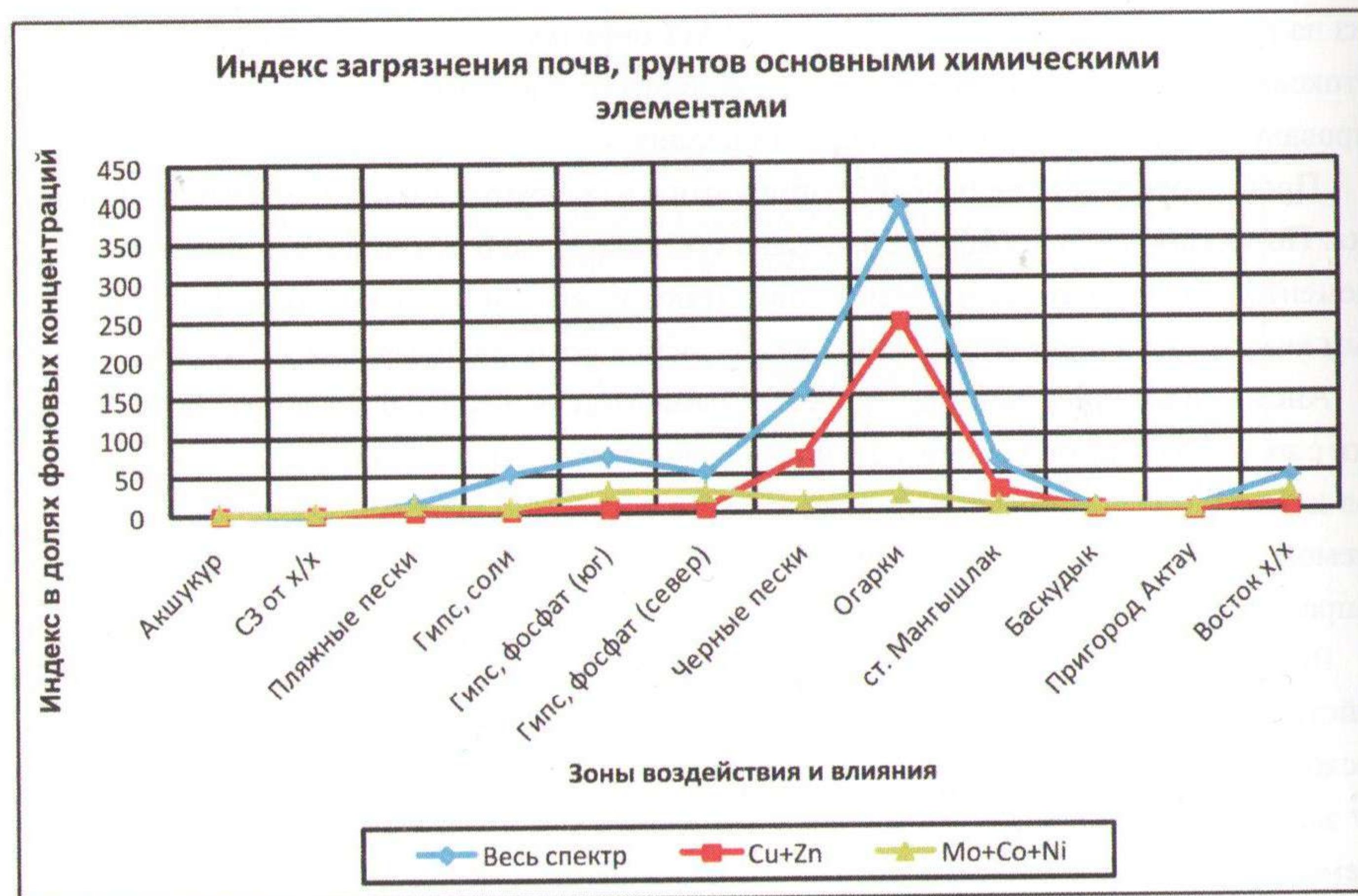


Рис. 2

На графике (рис.2) четко видно, что в показатель загрязнения максимальный вклад вносят концентрации меди и цинка. В целом, контуры участков загрязнения контролируются повышенными значениями радиоактивности и МЭД. В контуре пляжной части хвостохранилища значения суммарной удельной альфа-активности хотя и не превышают уровень радиоактивных отходов 10 кБк/кг, но значительно выше фоновых и достигают 5,0 до 8,7 кБк/кг при максимальных значениях МЭД от 60 до 92 мкР/ч, соответственно в западной и восточной частях южного сора Кошкарата. Повышенная радиоактивность обусловлена, в основном, распределением урана и тория и продуктами их распада. Удельная активность урана изменяется в пределах южной части сора Кошкарата от 99 до 11 400 Бк/кг. Активность тория изменяется по площади южной части сора от 30 до 1 230 Бк/кг. Характерно, активности урана и тория пространственно разобщены. При этом уран локализован в пределах зон Огарковое поле и Черные пески, тогда как максимальные активности тория локализуются в пределах южного пляжа хвостохранилища, зоны солевых и гипсо-солевых корок.

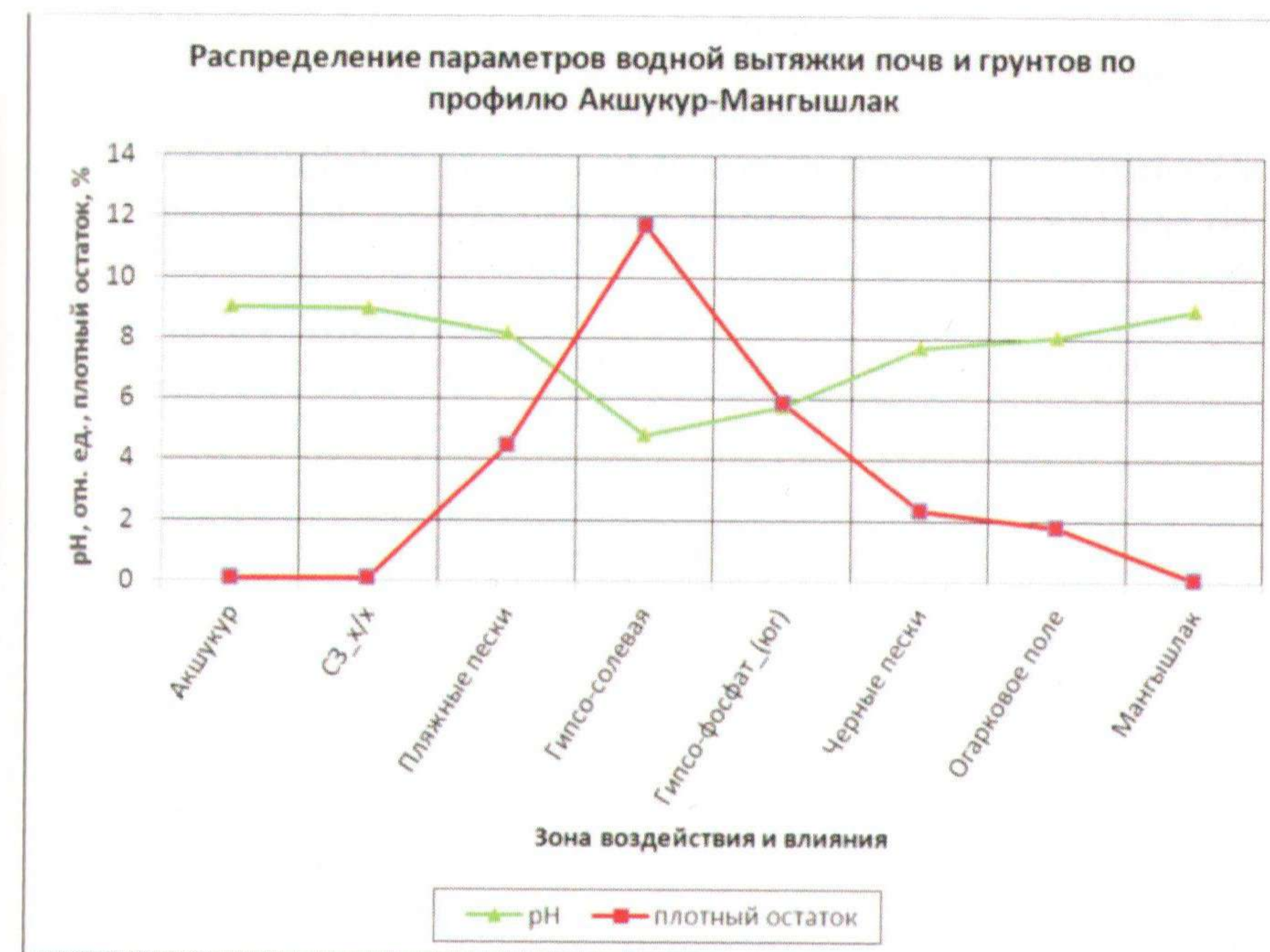


Рис. 3

Контуры участков загрязнения контролируются низкими и пониженными значениями водородного показателя – рН водных вытяжек из почв и грунтов. Минимальные значения рН совпадают с максимальными значениями радиоактивности и МЭД. Они достигают величин 3,7 до 4,8 в пределах южной части сора Кошкарата. Из графика рН (см. рис. 3) видно, что прилегающие к хвостохранилищу участки находятся под его воздействием. Следует отметить, что пониженные значения рН коррелируются с повышенными значениями плотного остатка водной вытяжки, что закономерно.

В заключение по данному разделу следует отметить следующее:

1. Хвостохранилище является основным источником загрязнения окружающей среды. Основными загрязняющими химическими элементами являются уран, медь, молибден, и цинк. Среди значимых загрязнителей следует отметить кобальт, никель, торий, хром, свинец и др.

2. По уровню загрязняющих веществ хвостохранилище может быть условно отнесено к экологическо-бедственной зоне, а прилегающие территории к зоне с чрезвычайной экологической ситуацией.

3. На восток в северо-восточном направлении от контура водной поверхности проявился обширный участок химического и радиоактивного загрязнения на площади примерно 22 кв. км. По уточненным данным 2011 года показатель химического загрязнения составляет 52, а величина удельной альфа-активности грунтов и почв достигает 3300 Бк/кг. Этот уча-



сток следует относить условно к зоне чрезвычайной экологической ситуации.

### 2.3. Загрязнения вод

Вторым источником загрязнения окружающей среды в исследуемом районе являются сбросные воды и воды Кошкарата. Водоем Кашкарата является бессточным, а потому прямого воздействия на поверхностные воды не имеет. Возможно влияние на подземные и грунтовые воды. Степень такого воздействия маловероятна, и её определение возможно по сети существующей сети мониторинговых скважин. В данном исследовании определялась его вероятная опасность для загрязнения приземного слоя атмосферы.

Наиболее токсичными являются воды сора Кошкарата. Поэтому следует ожидать, что при его полном высыхании высохшие грунты будут содержать химически токсичные элементы. Особо обращает на себя внимание такие токсиканты, как свинец, цинк и мышьяк. Они по своей токсичности гораздо более опасны, чем радионуклиды, по активности радионуклидов, которая по Радю-226 превышает уровень вмешательства в 5,6 раз, этот уровень не достигает уровня радиоактивных вод (5 Бк/л), т.е. менее 10 уровней вмешательства. Однако при высыхании воды в соре грунты будут заражены радием и ураном, и их альфа-активность будет высокой, что мы и наблюдаем на северо-восточном берегу сора.

По результатам сокращенного химического анализа вод, можно судить, что все воды не пригодны для питьевого и хозяйственного использования, в них практически превышены все контролируемые нормативы для питьевой воды. При этом воды сора Кошкарата следует относить к разряду рассолов.

Вывод: Высыхание сора многократно усугубит экологическую ситуацию в окрестности хвостохранилища Кошкарата.

### Результаты аналитических измерений проб аэрозолей

Большое внимание при мониторинге хвостохранилища Кошкарата уделялось контролю за загрязнением приземного слоя атмосферы как на самом хвостохранилище, так и на северо-восточном и юго-западном направлениях от хвостохранилища исходя из приоритетных направлений по розе ветров. Загрязнение приземного слоя атмосферы контролировалось по двум профилям: один в направлении Акшукур – Мангистау. Было намечено 10 пунктов для забора воздуха, в каждом из 10 пунктов наблюдений производилось по 2 забора воздуха объемом 12 куб. м.

Данные свидетельствуют, что наиболее интенсивным источником пыления является Черный пляж, где разовая концентрация взвешенных частиц может превышать максимально разовую концентрацию, которая составляет 0,5 мг/куб.м. С пылением коррелируются и концентрации растворимых сульфатов и серной кислоты (рис. 4).

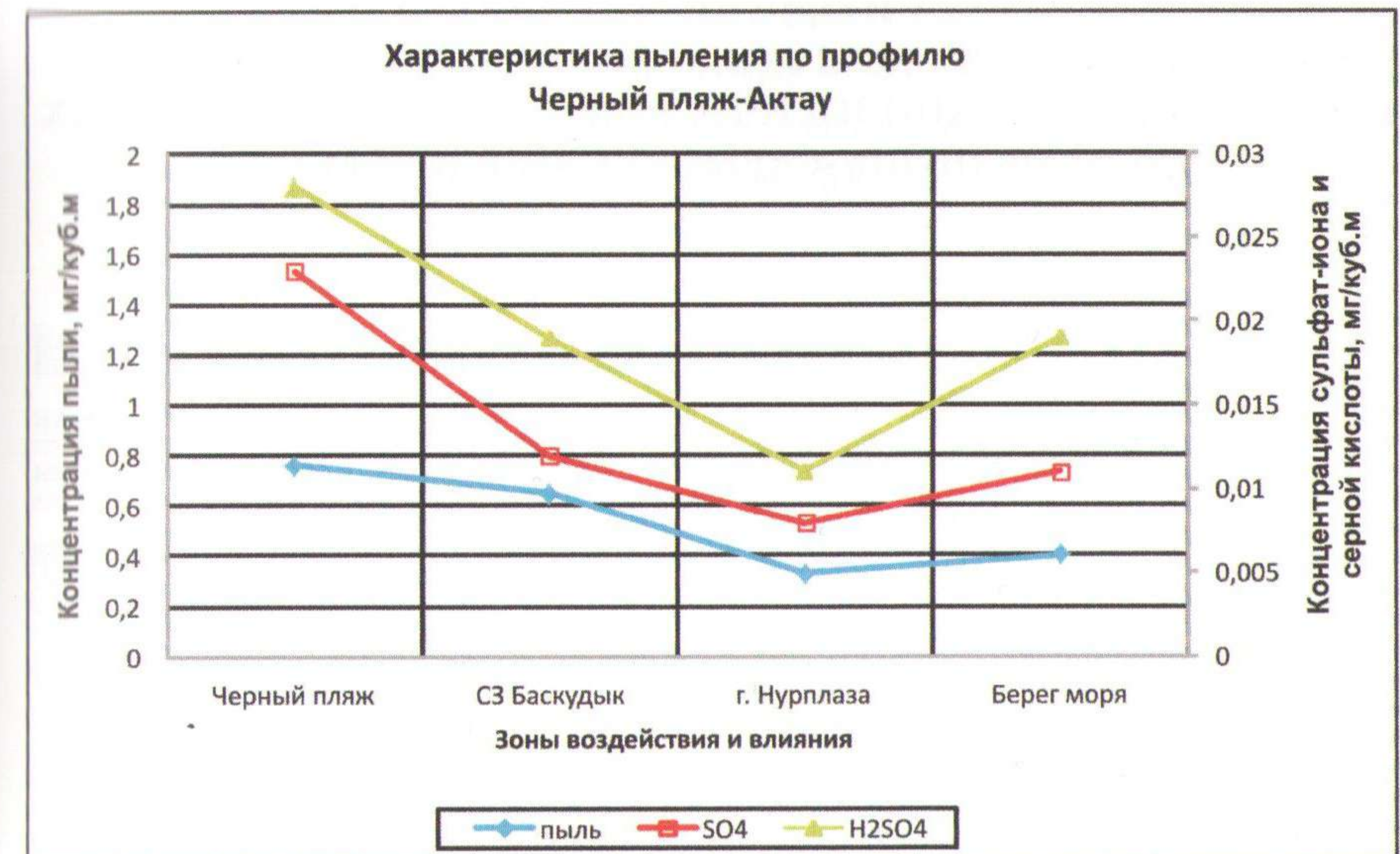


Рис. 4

Запыленность атмосферы по профилю п.Акшукур – ст.Мангышлак по сравнению с 2010 годом остается на прежнем уровне, при этом в крайних точках – п.Акшукур и ст. Мангышлак, она даже снижена. Приведенные в отчете расчеты показывают, что радиоактивное воздействие хвостохранилища воздушным путем при скорости ветра до 4,7 м/сек отсутствует, максимально возможная годовая доза для взрослого населения ст. Мангышлак с коэффициентом запаса 2 составляет 0,0032 мЗв/год при допустимой общей дозе 1 мЗв/год.

### Заключение

Продолжить мониторинг воздействия Кошкарата на окружающую среду для выяснения и уточнения всех аспектов воздействия.

Проводить масштабное озеленение жилых массивов и прилегающих территорий к хвостохранилищу Кошкарата, сокращать количество грунтовых дорог путем строительства дорог с твердым покрытием.

Не препятствовать естественному восстановлению природных процессов, развивающихся на Кошкарате, но при этом не допускать резкого спада уровня воды в соре. Продолжающийся спад воды усиливает дефляционные процессы на бортах сора и их химическое загрязнение. Основная рекомендация по рекультивации по нашим данным – это восстановление водной поверхности хвостохранилища Кошкарата до уровня, когда вся «пляжная» часть отходов будет покрыта водой и затормозится процесс загрязнения окружающей среды.



# МЕТОДИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОМ СОПРОВОЖДЕНИИ СООРУЖЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН НА ОБЪЕКТАХ РУДНИКОВ ПВ ШУ-САРЫСУЙСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Ясвилко К.С.

АО «Волковгеология», г. Алматы, Казахстан

Филиал АО «Волковгеология» ГРЭ№7 по основному профилю производственной деятельности занимается геологоразведочными работами (ГРР) по поискам, разведки урановых месторождений и подготовкой их к промышленному освоению способом подземного выщелачивания (ПВ) в Шу-Сарысуйской депрессии.

Промышленные рудные тела содержат радиоактивные элементы уранового ряда (U, Pa, Rn, Po, Tl, Pb ...), в процессе производства экспедиция образует техногенный низко-радиоактивный материал в виде керна, шлама после буровых работ, механические взвеси из рудного интервала после освоения скважин и при ремонтно-восстановительных работах (РВР) технологических скважин – продуктивные растворы и твёрдые мехвзвеси.

Масштабность месторождений урана в Шу-Сарысуйской депрессии и последующая их интенсивная разработка определяет всю актуальность радиоэкологической безопасности в данном направлении работ с позиции существующей законодательной базы РК.

Для успешной реализации радиоэкологической безопасности по объектам работ, на наш взгляд необходимо иметь четыре составляющие части:

1. Законодательная база РК;
2. Кадровый состав;
3. Методика и организация работ;
4. Материально-техническое обеспечение работ.

## Законодательная база РК

Основными нормативно-правовыми документами, на основании которых ведутся работы в АО «Волковгеология» являются:

- Закон РК «О радиационной безопасности населения», № 219 от 23.04.1998 г.;
- Закон РК «Об использовании атомной энергии»; № 93 от 14.04.1997 г.;
- Закон РК «О лицензировании»;
- Экологический кодекс;
- Кодекс РК «О здоровье народа и системе здравоохранения»;
- Санитарные правила «СЭТОРБ-2012»;
- Гигиенические нормативы «СЭТОРБ-2012»;
- Санитарные правила «СЭТРОО-2012»;
- Технический регламент «Ядерная и радиационная безопасность», (ТР, «ЯиРБ», 2010 г.)
- СТ РК ИСО 14001-2006 Система экологического менеджмента. Требования и ру-

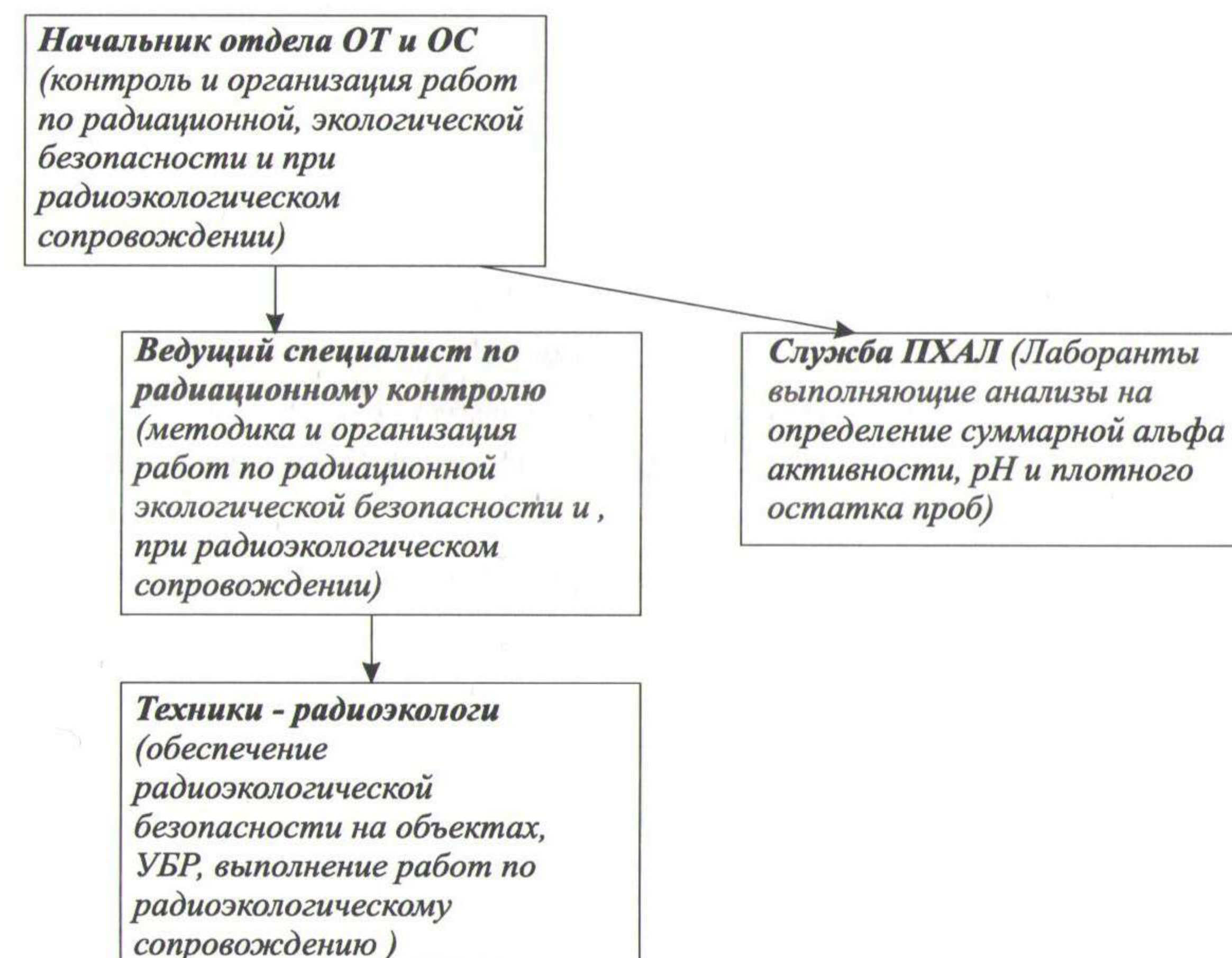
ководство по применению;

- СТ ИСМ ВГ 06-2010 Идентификация и оценка значимости экологических аспектов;
- СТ ИСМ ВГ 15-2010 Радиоэкологическое сопровождение;
- СТ ИСМ ВГ 13-2010 Поисково-разведочные работы;
- СТ ИСМ ВГ 18-2010 Метрологическое обеспечение.

## Кадровый состав

При ведении работ по радиоэкологическому сопровождению задействованы сотрудники службы радиационной и экологической безопасности экспедиции. Все сотрудники имеют высшее образование соответствующие профилю выполняемых работ (по специальности – «Экология», «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» и т.д.). Специалисты раз в пять лет проходят обучение в Учебных центрах по радиационной безопасности со сдачей экзамена. Служба радиационной и экологической безопасности состоит из десяти человек (начальник отдела, ведущий специалист по радиационному контролю, шесть техников-радиоэкологов, два лаборанта).

## Структура службы радиационной и экологической безопасности ГРЭ№7



## Методика и организация работ

В 2012 году филиал АО «Волковгеология» ГРЭ№7 проводит радиоэкологическое сопровождение сооружения и освоение технологических скважин на месторождениях Инкай (Северный фланг участок №3), Западный Мынкудук (участки Песчаный, Осенний), Будённовское (участок №2), а также радиоэкологическому сопровождению при



бурении геологоразведочных скважин на месторождениях Инкай (Северный фланг участка №3), Будённовское (участки №1,3,4).

**Радиоэкологическое сопровождение** - это комплекс мероприятий по охране окружающей среды, включающий работы:

- содержание службы радиационной и экологической безопасности;
- отбор проб грунта из зумпфов до и после бурения;
- радиометрическое обследование буровой площадки;
- дезактивация зумпфов;
- сооружение испарителей и последующая их рекультивация;
- радиометрическое обследование испарителей до и после использования;
- проходка и засыпка копуш;
- опробование копуш;
- отбор проб воды из мониторинговых скважин;
- дезактивация участков радиоактивного загрязнения вручную;
- временное хранение промышленных и радиоактивных отходов и дубликатов рудных проб;
- обращение с промышленными и радиоактивными отходами и дубликатами рудных проб;
- пробоподготовка и лабораторные анализы;
- обработка экологических материалов.

**Проходка скважины**

Для каждой скважины сооружается два зумпфа для глинистого раствора и бурового шлама (рабочий зумпф и отстойник рабочего зумпфа), образуемых при сооружении, скважин объёмом не менее 24м<sup>3</sup> (до 40м<sup>3</sup>) каждый и спецзумпф объёмом не менее 1 м<sup>3</sup> для сбора шлама из рудного интервала.

При бурении вскрышных пород полученный шлам (водоглинопесчаную смесь) сбрасывается в отстойник рабочего зумпфа.

При достижении рудного горизонта канавка на основной зумпф перекрывается, буровой раствор из скважины направляется в спецзумпф, который канавкой соединены с отстойником рабочего зумпфа. По окончании разбуривания рудного горизонта буровой раствор из скважины направляется снова в отстойник рабочего зумпфа.

Излишки бурового шлама из отстойника рабочего зумпфа доставляются в шламоприёмник.

#### **Освоение технологических скважины**

Одним из этапов работ при сооружении технологических скважин является освоение. Освоение скважины ведется компрессором XRVS. Перед освоением скважины выполняют откачку глинистого раствора из рабочего зумпфа и пропускают через гидроциклон для очистки от механических примесей и использования его для бурения следующей скважины (примерно 16-17 м<sup>3</sup>).

Выполняют откачку бурового шлама из отстойника рабочего зумпфа и вывозят его в шламоприёмник.

Заполняют основной зумпф технической водой и выполняют начальный цикл освоения скважины до появления чистой воды в соответствии с «Регламентом сооружения технологических скважин».

Откачивают взмученную воду из зумпфов и вывозят её водовозами в шламоприёмник.

Приступают к собственно освоению скважины (основной цикл) в соответствии с «Регламентом сооружения технологических скважин».

На подготавливаемых полигонах:

Чистую воду основного цикла освоения сбрасывать в основной зумпф и вывозят техводовозами в осветлитель.

На действующих блоках :

Чистая вода основного цикла освоения сбрасывается в буферную емкость объемом 30 м<sup>3</sup>, минуя зумпф, с буферной емкости с помощью насоса перекачивается в пескоотстойник возвратных растворов Заказчика. После достижения стабильного максимального дебита прокачка осуществляется не менее 8 часов до выхода чистой воды без механических примесей (не более 100 мг/литр). Содержание мехвзвесей подтверждается протоколом заводской лаборатории. Среднее время освоения составляет 20 часов.

#### **Обращение с керновым материалом**

При бурении скважин с извлечением керна на буровой площадке организовывается специальное место для работы с радиоактивным керном. Радиоактивный керн помещается в специальный лоток, исключая рассыпание и высыпание керна на грунт, идентифицируется и укладывается с использованием средств индивидуальной защиты в керновые ящики. Керновые ящики имеют переборки, в ячейки укладывается полиэтиленовая пленка, чтобы не допустить потери радиоактивного керна.

Радиоактивный керн, извлеченный из скважины, документируется в виде паспорта рудных интервалов, который постоянно хранится в деле скважины.

По окончании работы с керном (документация, опробование) керновый материал, и дубликаты проб передаются на хранение в кернохранилище.

Керновые пробы направляются на анализы в химико-аналитическую партию Центральной опытно-методической экспедиции АО «Волковгеология» (ХАП ЦОМЭ).

Проанализированные радиоактивные пробы, их дубликаты и остатки материала проб после выполнения анализов возвращаются заказчику. Заказчик транспортирует радиационные упаковки в пункт захоронения радиоактивных отходов.

По завершению работ на объекте принимается решение о дальнейшем хранении рудного керна, либо его передачи заказчику.

#### **Рекультивация скважины**

После завершения бурения скважины службой радиационной безопасности ГРЭ№7



проводится радиометрическое обследование буровой площадки с измерением мощности экспозиционной дозы (МЭД) в районе скважины, сточной канавки и зумпфов с регистрацией данных МЭД в акте приема-передачи площадки скважины по радиационным параметрам». Техниками-радиоэкологами ГРЭ№7 отбираются пробы бурового шлама «методом конверта»:

- из специального зумпфа отбор проб грунта до начала бурения;
- из специального зумпфа отбор проб бурового шлама в начале и в конце проходки рудного горизонта;
- пробы сдаются в ПХАЛ ГРЭ№7, где определяются суммарная альфа-активность, плотный остаток и рН в высушенных пробах.

По результатам протоколов лабораторных анализов и с заключением о степени радиоактивности проб шламов и грунта проводится очистка тех зумпфов, в которых суммарная альфа-активность грунта превышает уровень фона характерного для окружающих грунтов на 1200 Бк/кг. Если суммарная альфа-активность не превышает этих значений, то верхний слой зумпфа засыпается чистым грунтом, слоем не менее 25 см. Если суммарная альфа-активность шлама в зумпфе 10000 Бк/кг, то этот материал является радиоактивными отходами удаляется из зумпфа, собирается в полиэтиленовые или крафт-мешки, складировается в специально отведенном месте и подлежит передаче заказчику для последующего захоронения в ПЗРО. Шлам с величиной суммарной альфа-активности от величины выше 1200 Бк/кг сверх естественного фона до 10000 Бк/кг является материалом ограниченного использования, также удаляется из зумпфа и подлежит размещению в шламоприемнике или на полигоне промышленных отходов Заказчиков.

На основании результатов анализов проб и замеров мощности экспозиционной дозы (МЭД), составляется Акт приёма-передачи площадки скважины по радиационным и экологическим показателям.

После сдачи скважины Заказчику зумпфы засыпаются чистым грунтом, производится планирование поверхности буровой площадки с уборкой от посторонних предметов

#### **Внутренние документы, отчетность**

Для каждого участка буровых работ в зависимости от особенностей месторождения, вида проводимых работ составляются регламенты (регламент по эксплуатации специальных и основных зумпфов при бурении технологических и геологоразведочных скважин на УБР, регламент по сооружению технологических скважин, регламент на освоение технологических скважин, Регламент по бурению разведочных скважин и т.д.).

Работы по радиационной безопасности с технологическими отходами проводятся в соответствии с разработанным Заказчиком Типовым проектом и/или «Регламентом обращения с технологическими отходами, образующихся при сооружении геологоразведочных, гидрогеологических и освоении технологических скважин на месторождениях подземного выщелачивания урана» и «Регламентом на сооружение технологических

скважин», утвержденным и согласованным с Госорганами. Проект и/или Регламенты являются неотъемлемыми частями договора с Заказчиком на проведение данного комплекса работ.

Результаты радиоэкологического сопровождения ежемесячно оформляются в виде акта выполненных работ по договору. Ежеквартально данные по актам приема-передачи площадки скважин по радиационным и экологическим параметрам обобщаются и в виде отчета передаются заказчикам. Ежеквартально в АО «Волковгеология» предоставляются отчеты о состоянии радиационной обстановки и радиационного контроля на объектах филиала АО «Волковгеология» ГРЭ№7 и в ДКГСЭН по ЮКО отчет организации использующей источники ионизирующего излучения.

#### **Материально-техническое обеспечение**

Для выполнения работ по радиоэкологическому сопровождению экспедиция располагает:

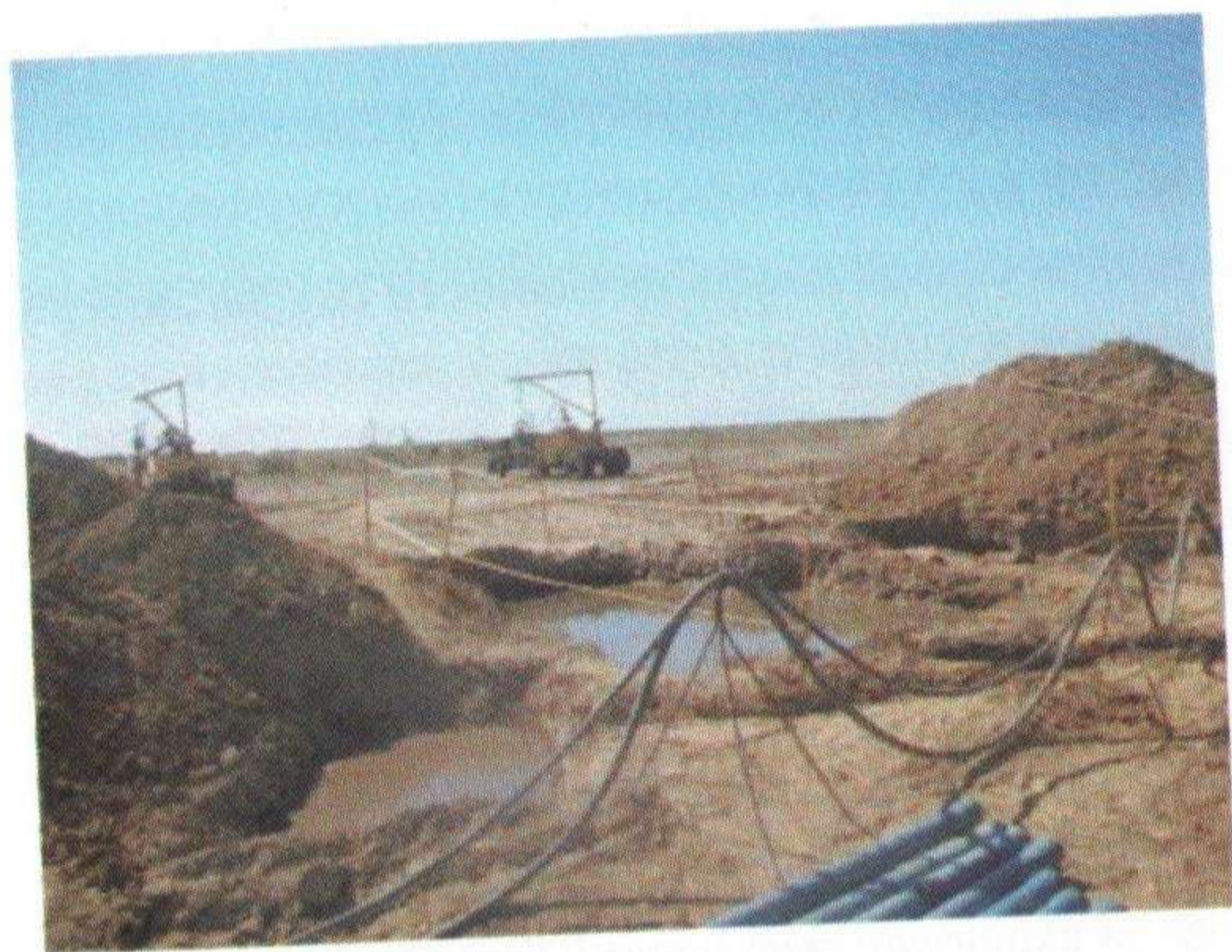
- приборами для дозиметрического контроля и радиометрических замеров дозиметры – радиометры МКС 08-02 АБГм «Дкс-96» -2 шт., ДКС-96 АБП – 2 шт.;
- для определения суммарной альфа-активности альфа-бета радиометр УМФ 2000 – 2 шт.;
- для индивидуального дозиметрического контроля у персонала категории А имеются термолюминесцентные дозиметры (ТЛД);
- весь персонал полностью обеспечен спецодеждой, спецобувью и средствами индивидуальной защиты;
- автотранспортом для передвижения исполнителей между объектами обследования и контроля машина УАЗ, для сооружения и рекультивации испарителей, шламохранилищ, зумпфов – экскаватор, бульдозер. Техводовозы для транспортировки воды после освоения и буровых шламов.

В целом материально-техническое обеспечение экспедиции позволяет выполнять все работы по радиоэкологическому сопровождению в полном объеме.

#### **Проблемные вопросы:**

1. Своевременное согласование проектной документации на места сборов технологических отходов (шламохранилища, испарители).
2. Своевременный прием заказчиками от исполнителей низкорadioактивных отходов (остатки и дубликаты рудных проб).
3. Пробелы в санитарных правилах и нормах к обеспечению радиационной безопасности.







## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕЧИ ВГТП-8 НА РУДНИКЕ ТОО «АППАК»

Данилов. А.А.

ТОО «АППАК», г. Алматы, Казахстан

На руднике ТОО «АППАК» для получения ГП (ЗОУ стандарта ASTM), для прокалики используются две печи ВГТП-8.

Фактическая эксплуатация данного оборудования на предприятии начато с конца 2008г. Хотелось бы отметить, что эксплуатация печей велась довольно в жестком режиме, а именно (особенно в период внедрения технологии пероксидного осаждения), высокая влажность продукта (до 40% и сильно окислительная среда внутри реторты (в отличие от стандартной прокалики поллиуратов аммония когда выделяется газообразный аммиак).

Температуры трех рабочих зон при эксплуатации – 350-400°C, 650-700°C, 800-850°C.

В ходе эксплуатации данного оборудования нам пришлось столкнуться с рядом трудностей, которые в первую очередь связаны с тем, что данное оборудование уже многие годы эксплуатируется на предприятиях Казатомпрома, без проведения необходимой модернизации.

Хотелось бы отметить, высокую надежность и техническую простоту данного оборудования.

### Ряд основных слабых сторон печи ВГТП-8, выявленные в ходе эксплуатации на руднике ТОО «АППАК»

- дороговизна использования литых реторт (российского производства);
- низкое качество (устаревшие технологии) теплоизоляции – высокие тепловые потери, сложность проведения монтажа и демонтажа теплоизоляции (общее количество теплоизоляционного и жаропрочного кирпича - более 7600шт.);
- высокий расход нагревательных элементов (спирали – материал фехраль);

1)

В связи с сильным удорожанием легирующих присадок и как следствие подорожание конечной продукции из нержавеющей стали – значительно выросла стоимость «литых», реторт российского производства. В связи, с чем ТОО «АППАК» провели работы по поиску возможных аналогов.

Так в 2008 году были приобретены две реторты из катанного листового металла. В ходе эксплуатации, данных реторт было выявлено, что фактическая долговечность не многим отличается от «литых», реторт Российского производства. Исходя из конструкции сварных реторт мы заранее можем судить о ее слабых местах, а именно швах, в рамках чего разработан регламент по периодичности «проварки» сварных швов. Что касается «литых» реторт, которые по факту так же являются сварными, состоящими

из литых частей, то опыт показывает, что в данном случае слабым местом являются, как непосредственно швы, так и тело реторты. В последнее время снизился контроль качества изделия. Невидимые внутренние дефекты при литье (раковины и т.д.) в теле реторты в итоге приводят к ее выходу из строя.

Основной показатель стоимость/качество, в итоге исходя из накопленного опыта показывает, что отечественные аналоги, при ограниченности средств являются достойной заменой «литых», реторт Российского производства.

2)

В связи с необходимостью, ремонта и замены реторты печи ВГТП-8, встает необходимость осуществления демонтажа и монтажа свода теплоизоляции печи. Данный процесс является довольно трудоемким, в среднем занимающим 5-6 рабочих смен, а так же требующий достаточной квалификации специалистов ремонтной службы.

Общее количество теплоизоляционных и жаропрочных кирпичей (230x114x65-1465шт., 230x113x40-900шт., 230x113x65-4740шт., и т.д.) для одной печи составляет – порядка 7676шт., в среднем 30-35% данного объема требуется постоянно демонтировать. Хотелось бы отметить, что механические свойства данного материала довольно низки, часть кирпичей постоянно требуют замены в ходе работы.

Летом 2011 года в ходе проведения работ по общей реконструкции печного отделения ТОО «АППАК», было принято решение провести модернизацию печей ВГТП-8, в связи, с чем на одной из существующих печей, была проведена замена всего свода теплоизоляционного материала.

Использованный материал имеет температуру применения до 1430°C, низкую теплопроводность (при 400°C не более 0,06Вт/мК, при 800°C не более 0,1Вт/мК, при 1000°C не более 0,13Вт/мК), в то время, как кирпич пенодиатомитовый КПД400 имеет максимальную температуру применения 900°C, и теплопроводность  $\lambda$  (при 400°C - 0,1Вт/мК, при 600°C - 0,12Вт/мК, при 800°C - 0,13Вт/мК).

Максимальный размер использованных теплоизоляционных плит составляет 1000x500x100мм, вместо кирпича 230x113x65мм, тем самым снижаются как трудозатраты на монтаж, так и снижается общая длина швов (примыкания поверхностей теплоизоляции), и как следствие снижаются конвекционные потери тепла. Таким образом общая теплопроводность всей конструкции становится значительно ниже чем при использовании теплоизоляционного кирпича.

Так же немаловажным плюсом является, что новый материал в одном лице выполняет функции и жаропрочного и теплоизоляционного материала.

Общие размеры теплоизоляционного свода значительно уменьшились, что при глубокой модернизации позволило бы уменьшить габаритные размеры (высота и ширина) самой печи. Вторым намеченным шагом является покрытие металлических кожухов теплоизоляционной краской типа RE-THERM толщиной 1-2 мм.

В связи с тем, что основное тепло выделяемое в печи идет на испарение влаги в



ЖКПУ, нельзя говорить о координальной экономии электроэнергии, но исходя из проведенной модернизации, фактический удельный расход электроэнергии на кг урана сократился на 8-10% (общие данные по печному отделению), при дальнейшем усовершенствовании, возможно достичь более лучшие показатели.

3)

Основными материалами для изготовления нагревательных элементов (спирали нагрева), являются нихром и фехраль. Данные материалы имеют свои плюсы и минусы:

- так максимальная температура использования нихромовых нагревателей порядка 1100 °С, в то же время нихром на всех промежутках температуры сохраняет свои физические свойства.

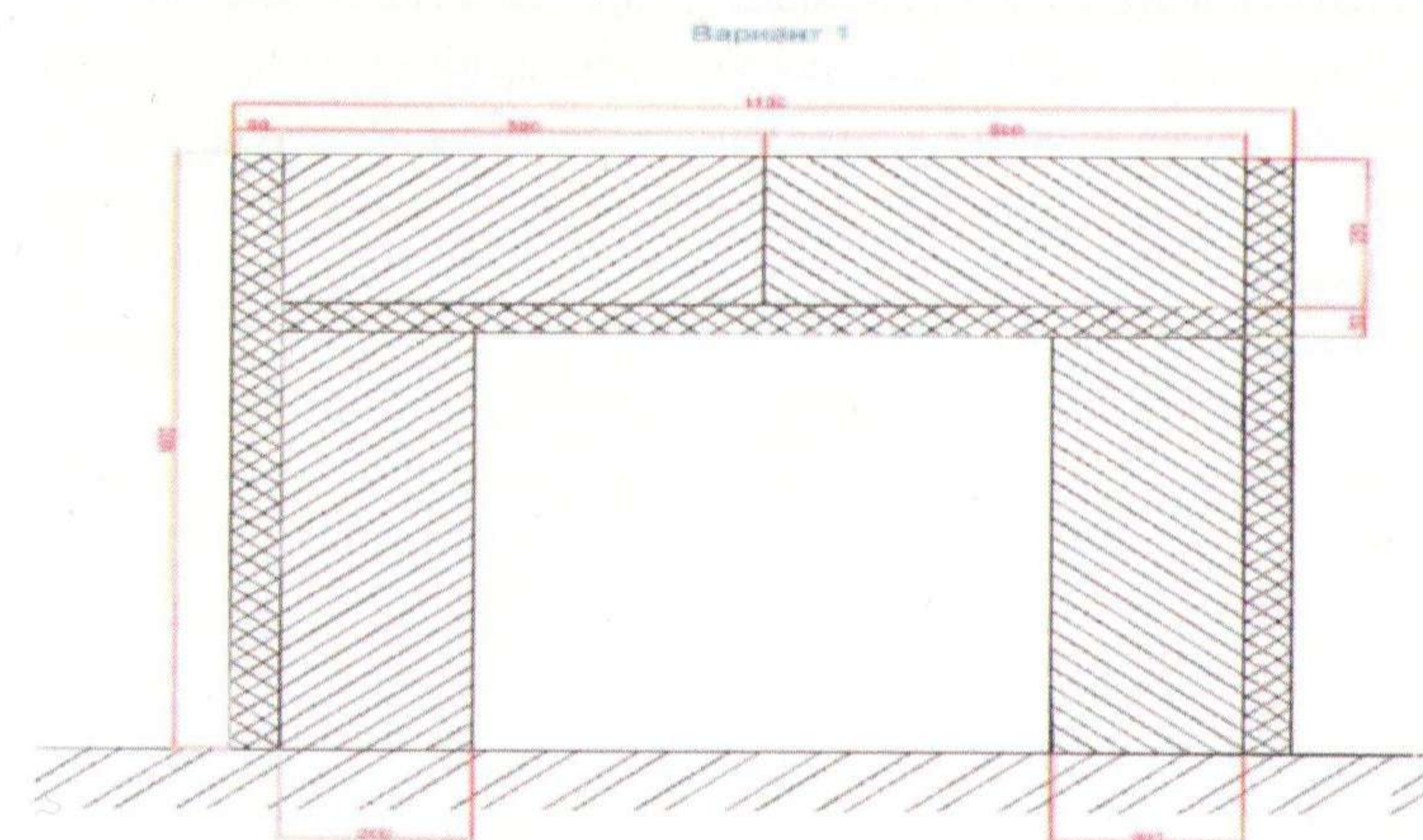
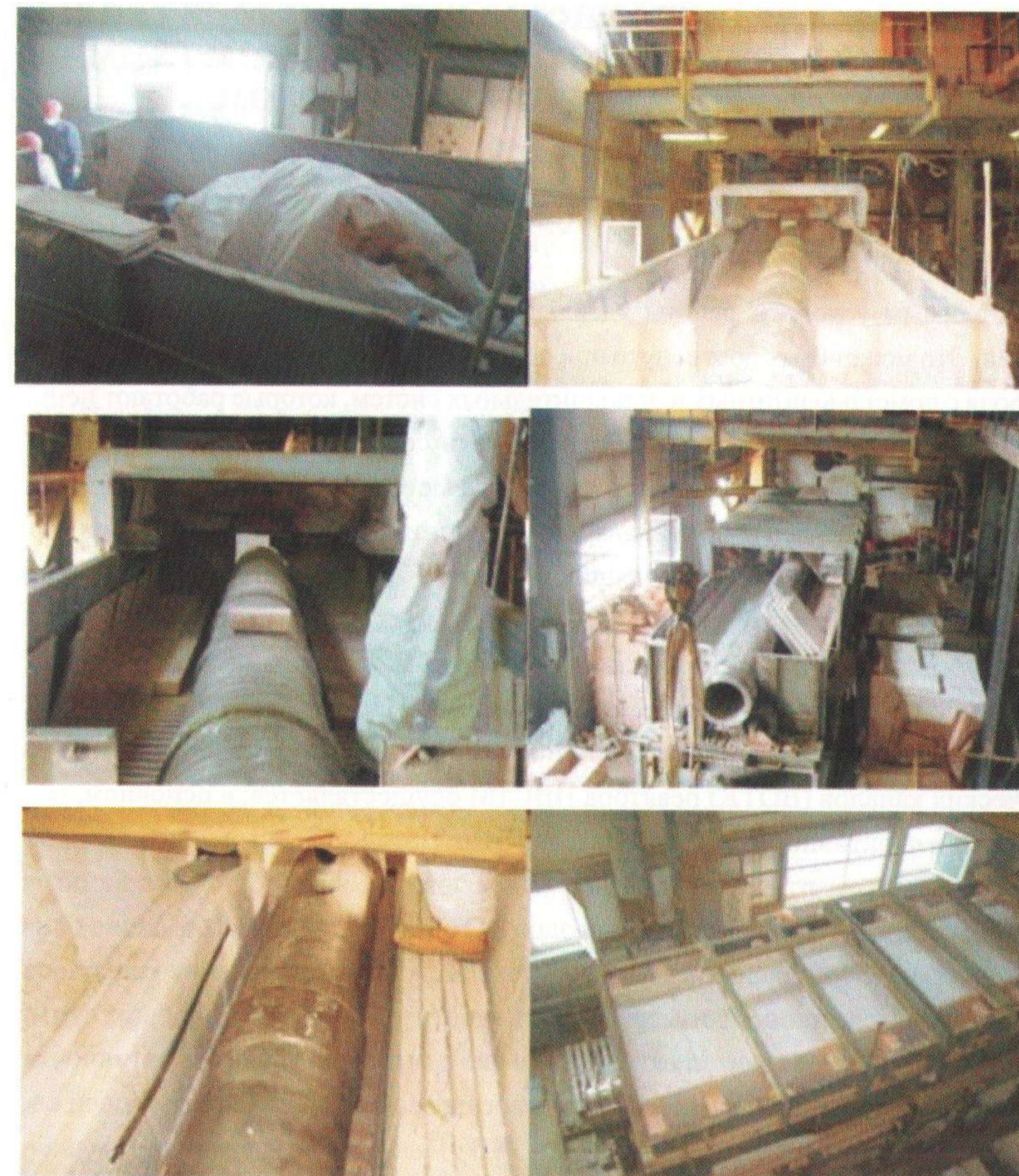
- максимальная температура фехрала составляет 1400°С, в тоже время при температуре порядка 800°С, данный материал начинает «ползти» - становится очень пластичным, так же фехраль выдерживает меньшее количество циклов нагрева.

Основным показателем при выборе материала становится цена. В связи с значительным удорожанием никеля (один из основных составляющих сплава – нихром), стоимость фехралевых нагревателей в разы меньше нихромовых аналогов.

В ходе эксплуатации фехралевых нагревателей, было выявлено, что основным слабым местом фехралевых нагревателей является именно повышенная пластичность фехрала. При высоких температурах витки спирали начинают отклоняться от своей оси, смещаясь так значительно, что происходит залипание на соседние витки и как следствие выход из строя всего тэна. В отдельные периоды времени расход тэнов составлял порядка 0,5шт/тонна урана.

В настоящий момент, в рамках проведения испытаний. Нашей компанией приобретены жаропрочные металлокерамические трубки. Для предотвращения отрицательного воздействия пластичности, было принято решение либо осуществлять навивку спирали вокруг данных трубок, либо обеспечивать посадку готовых спиралей «впотай» на трубку КМЦ (содержание  $Al_2O_3$  не менее 60%). Тем самым возможность при увеличении пластичности фехрала смещения витка спирали, будет сведена к минимуму. Учитывая относительно не высокую стоимость (относительно спирали нагрева) данных трубок и возможность их многократного использования, общие затраты значительно меньше фактически сниженных издержек. В дальнейшем рассматривается вариант перехода на SiC (карбид кремния) нагреватели, с увеличенным сроком службы и КПД.

Хотелось бы отметить, что фактическая модернизация существующей печи ВГТП-8, была произведена практически с нуля и на действующем предприятии, без полной и глубокой доработки, но положительные изменения на лицо. В заводских условиях модернизация (при исполнении и изготовлении) данной печи позволит (без значительного увеличения стоимости), добиться более значимых улучшений эксплуатационных характеристик, что на общем фоне снижения рыночной стоимости урана будет существенно влиять на его себестоимость.





# ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ КГО РЕАКТОРА ИВГ.1М ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Кожуханов С.Б., Алейников Ю.В., Попов Ю.А.  
ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Необходимым условием работы ядерных реакторов является безопасность их эксплуатации. Это может быть достигнуто при организации непрерывного внутриреакторного контроля с помощью штатных и дополнительных систем, которые работают непрерывно или периодически и служат целям диагностики состояния активной зоны реактора. Доступные в настоящее время средства контроля и методы диагностики позволяют идентифицировать ряд аномальных предаварийных состояний активной зоны, при которых возможно развитие ситуаций, приводящих к аварии. К таким состояниям относятся возникновение дефектов в тепловыделяющих элементах (ТВЭлах), изменение расхода теплоносителя, увеличение температуры или мощности канала, вскипание теплоносителя или недопустимое увеличение колебания реактивности.

В настоящее время контроль герметичности оболочек ТВЭлов водоохлаждаемых технологических каналов (ВОТК) реактора ИВГ.1М осуществляется, в основном, по интегральной гамма-активности теплоносителя. Этот метод позволяет сигнализировать о появлении быстроразрушающейся тепловыделяющей сборки (ТВС), но не позволяет определить степень негерметичности ТВЭлов ВОТК и получить информацию о процессах выхода продуктов деления в теплоноситель и степени загрязнения теплоносителя. Это обусловлено сложностью измерения активности реперных изотопов, т.к. суммарная удельная активность продуктов активации выше суммарной удельной активности продуктов деления (при нормальных условиях работы реактора). В существующей системе контроля герметичности оболочек ТВЭлов (СКГО) имеется возможность поканального отбора проб теплоносителя с последующим проведением гамма-спектрометрического анализа. Но пробоотборный метод не достаточно оперативен из-за длительности измерений. Весьма прогрессивным в этом смысле, является пробоотборный гамма-спектрометрический метод контроля активности теплоносителя. Этот метод обладает достаточной информативностью, т.е. позволяет получить информацию о процессах выхода продуктов деления в теплоноситель, а также о степени разгерметизации ТВЭлов и является более оперативным в сравнении с пробоотборным методом.

Целью физических исследований был анализ нуклидного состава теплоносителя для определения реперных изотопов, которые возможно использовать для контроля герметичности оболочек ТВЭлов ВОТК реактора ИВГ.1М. Перед измерением изотопного состава теплоносителя, до пуска реактора, была произведена калибровка гамма-спектрометра. Спектр фонового гамма-излучения теплоносителя изображен на рисунке 1. Гамма-спектрометрические измерения изотопного состава теплоносителя производились

в течении 6 часов при мощности реактора 6 МВт. Измерения проводились пробоотборным гамма-спектрометрическим методом. Датчик (полупроводниковый детектор) располагался у сливного коллектора СКГО. Расход теплоносителя через систему задавался соответственно – 1,41 кг/с, 1,1 кг/с, 0,64 кг/с, 0,38 кг/с. Спектр фонового излучения и спектр излучения теплоносителя, измеренный у сливного коллектора СКГО при мощности реактора 6 МВт и расходе воды 1,41 кг/с, показаны на рисунках 1 и 2.

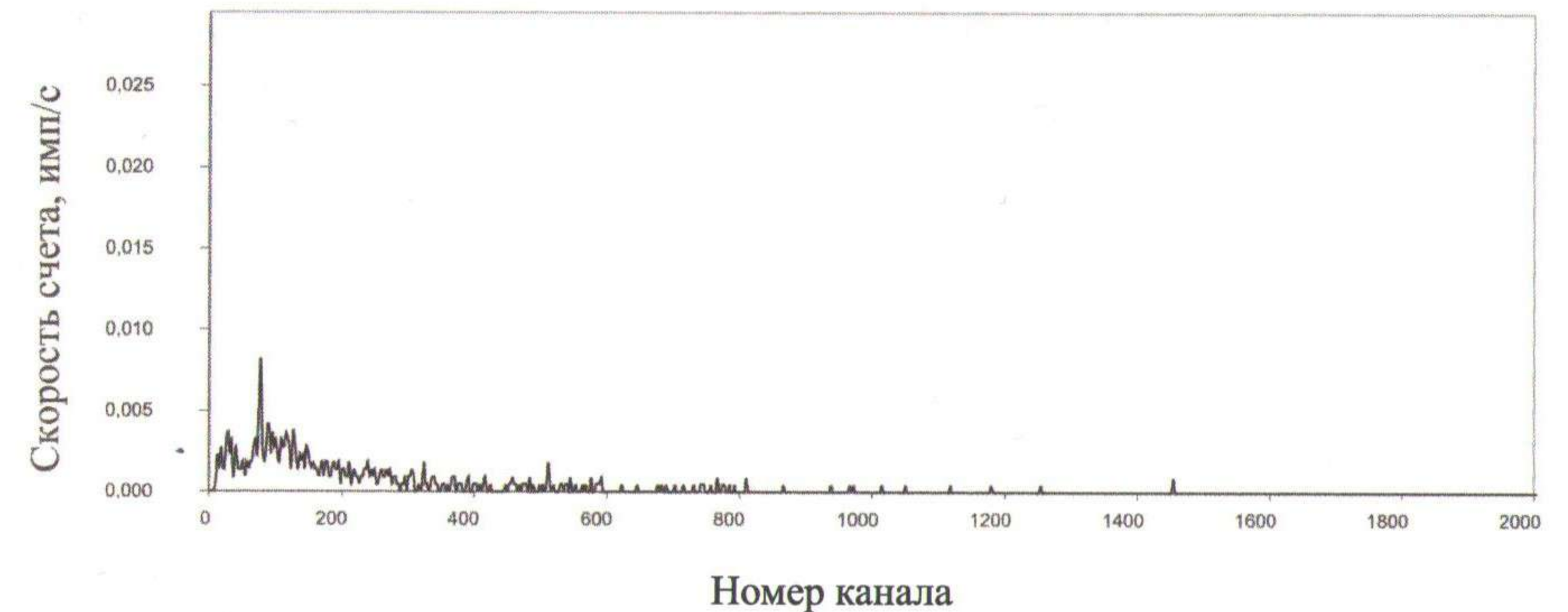


Рисунок 1. Спектр фонового гамма-излучения теплоносителя. Экспозиция – 2183 с.

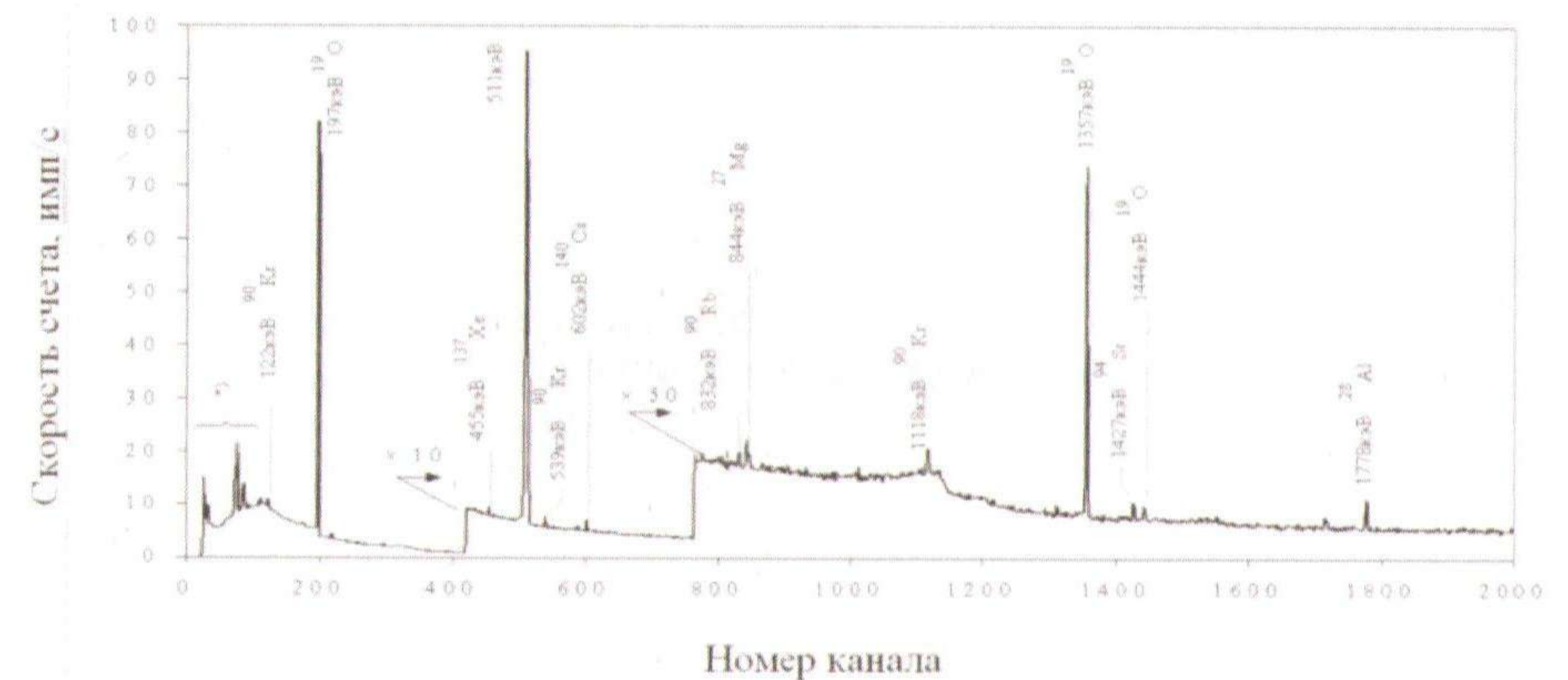


Рисунок 2. Спектр гамма-излучения теплоносителя. Экспозиция – 600 с.

Одним из важных параметров, определяющих чувствительность и работоспособность СКГО, является время доставки теплоносителя от активной зоны до датчиков, измеряющих его гамма-активность. Это время существенно определяет спектральный состав гамма-излучения воды, поступающей в измерительные емкости блоков детектирования (при уменьшении времени доставки резко возрастает фоновая активность, обусловленная активацией воды в реакторе). Время доставки зависит от расхода воды через сливной коллектор системы и может изменяться в пределах от 30 до 300с. В практике сложно определить время движения теплоносителя с момента выхода из зоны облучения до момента регистрации. Время доставки теплоносителя до точки де-



тектирования можно найти расчет-но-экспериментальным путем на основе радиационных измерений. При этом используется зависимость отношения активности изотопов с различным периодом полураспада от времени доставки в определенную точку контура. Активность этих изотопов можно измерить гамма-спектрометрическим методом одновременно с регистрацией реперных изотопов без привлечения дополнительной аппаратуры. Например, в условиях реакторного контура с водяным теплоносителем контролируются  $^{19}\text{O}$  ( $T_{1/2} = 29,4$  с) и  $^{16}\text{N}$  ( $T_{1/2} = 7,11$  с).

Удельная активность однофазного теплоносителя при неразветвленной технологической схеме, отсутствии системы очистки и без учета выгорания ядер после одного цикла циркуляции определяется зависимостью:

$$a = I \times [1 - \exp(-\lambda\tau)] \times \exp(-\lambda t'), \quad (1)$$

где  $I = \Phi \times \sigma \times \rho$ ;  $\Phi$  – плотность потока нейтронов, усредненная по объему теплоносителя в зоне облучения, нейтрон/(см<sup>2</sup>·с);

$\rho$  – ядерная концентрация нуклида-мишени в теплоносителе, ядро/г;

$\tau$  – время движения теплоносителя в зоне облучения, с;

$t'$  – время движения теплоносителя от момента выхода из зоны облучения до точки измерения, с;

$\sigma$  – сечение активации нуклида мишени, см<sup>2</sup>;

$\lambda$  – постоянная распада, с<sup>-1</sup>.

Составим систему уравнений, решив которую, определим время доставки теплоносителя от активной зоны до точки измерения:

$$\begin{cases} a_{16N} = \Phi \times \sigma_{16N} \times \rho_{16O} \times [1 - \exp(-\lambda_{16N}\tau)] \times \exp(-\lambda_{16N}t') \\ a_{19O} = \Phi \times \sigma_{19O} \times \rho_{18O} \times [1 - \exp(-\lambda_{19O}\tau)] \times \exp(-\lambda_{19O}t') \end{cases}, \quad (2)$$

Решение этой системы получим в следующем виде:

$$t' = \frac{\ln(a_{16N} / a_{19O}) - \ln[1 - \exp(-\lambda_{16N}\tau)] / [1 - \exp(-\lambda_{19O}\tau)] - \ln(\sigma_{16N}^{C.D} \rho_{16O} / \sigma_{19O} \rho_{18O})}{\lambda_{19O} - \lambda_{16N}}, \quad (3)$$

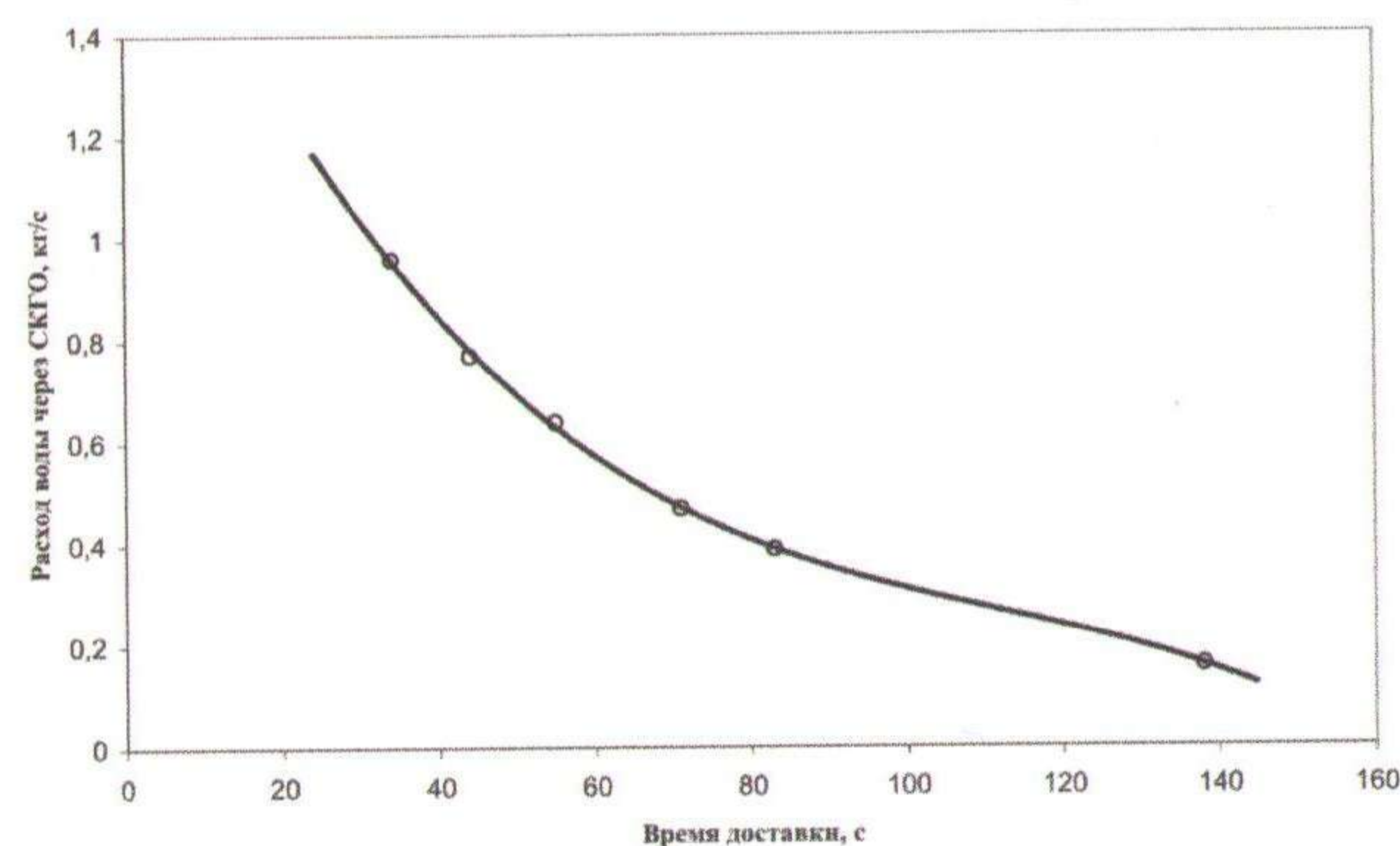


Рисунок 3. Зависимость времени доставки от расхода воды через СКГО

По полученным результатам построен график зависимости времени доставки теплоносителя до точки детектирования от расхода воды через СКГО, представленный на рисунке 3.

В результате обработки спектров гамма-излучения теплоносителя полученных при измерениях у сливного коллектора СКГО идентифицированы следующие радионуклиды:

- $^{19}\text{O}$ , образующийся в результате реакции активации  $^{18}\text{O}$  ( $n,\gamma$ )  $^{19}\text{O}$ ;
- $^{28}\text{Al}$ , образующийся в результате реакции активации  $^{27}\text{Al}$  ( $n,\gamma$ )  $^{28}\text{Al}$ ;
- $^{27}\text{Mg}$ , образующийся в результате реакций активации  $^{26}\text{Mg}(n,\gamma)^{27}\text{Mg}$ ,  $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ ;
- $^{56}\text{Mn}$ , являющийся продуктом активации и образующийся в результате реакции  $^{56}\text{Mn}(n,\gamma)^{57}\text{Mn}$ ;
- $^{41}\text{Ar}$ , являющийся продуктом активации и образующийся в результате реакции  $^{40}\text{Ar}(n,\gamma)^{41}\text{Ar}$ ;
- $^{85,87,90}\text{Kr}$ ,  $^{93,94}\text{Sr}$ ,  $^{94}\text{Y}$ ,  $^{137,138,139}\text{Xe}$ ,  $^{140}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{I}$ ,  $^{101}\text{Tc}$ , являющиеся продуктами деления и др.

Радиоактивный изотоп  $^{19}\text{O}$  образуется при прохождении теплоносителя через активную зону под действием медленных нейтронов в реакции  $^{18}\text{O}(n,\gamma)^{19}\text{O}$ . Этот изотоп дает жесткое гамма-излучение, которое определяет уровень излучения теплоносителя в трубопроводах контура работающего реактора. Изотопы  $^{28}\text{Al}$ ,  $^{56}\text{Mn}$ ,  $^{27}\text{Mg}$  образуются при переходе в воду продуктов коррозии облученных материалов активной зоны. Изотопы  $^{85,87,90}\text{Kr}$ ,  $^{93,94}\text{Sr}$ ,  $^{94}\text{Y}$ ,  $^{137,138,139}\text{Xe}$ ,  $^{140}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{I}$ ,  $^{101}\text{Tc}$  образуются в процессе деления урана, содержащегося в виде примесей в конструкционных материалах и присутствующего в качестве загрязнений на поверхности твэлов и при разгерметизации твэлов. Результаты гамма-спектрометрических измерений, выполненных у сливного коллектора СКГО, приведены в таблице 1. За единицу активности была принята активность изотопа  $^{19}\text{O}$ , измеренная при работе реактора на мощности 6 МВт и расходе теплоносителя через систему КГО 1,41 кг/с.

Таблица 1. Изотопный состав теплоносителя, определённый по результатам гамма-спектрометрических измерений, выполненных у сливного коллектора СКГО

Изотоп	Q = 1,41 кг/с, P = 6 МВт	Q = 1,1 кг/с, P = 6 МВт	Q = 0,64 кг/с, P = 6 МВт	Q = 0,38 кг/с, P = 6 МВт
	Активность, отн. ед.	Активность, отн. ед.	Активность, отн. ед.	Активность, отн. ед.
$^{19}\text{O}$	1	$7,42 \cdot 10^{-2}$	$2,92 \cdot 10^{-2}$	$9,03 \cdot 10^{-2}$
$^{27}\text{Mg}$	$1,87 \cdot 10^{-2}$	$2,43 \cdot 10^{-2}$	$2,19 \cdot 10^{-2}$	$2,11 \cdot 10^{-2}$
$^{28}\text{Al}$	$1,42 \cdot 10^{-2}$	$1,09 \cdot 10^{-2}$	$6,99 \cdot 10^{-2}$	$3,69 \cdot 10^{-2}$
$^{41}\text{Ar}$	$6,81 \cdot 10^{-3}$	<МДА	$4,74 \cdot 10^{-3}$	$7,14 \cdot 10^{-3}$
$^{56}\text{Mn}$	<МДА	$9,64 \cdot 10^{-3}$	$8,62 \cdot 10^{-3}$	$9,10 \cdot 10^{-3}$
$^{85}\text{Kr}$	<МДА	<МДА	$2,56 \cdot 10^{-3}$	<МДА
$^{87}\text{Kr}$	$5,12 \cdot 10^{-3}$	<МДА	<МДА	
$^{89}\text{Kr}$	<МДА	$3,88 \cdot 10^{-2}$	$2,35 \cdot 10^{-2}$	$2,36 \cdot 10^{-2}$
$^{89m}\text{Kr}$	$3,51 \cdot 10^{-2}$	$3,84 \cdot 10^{-2}$	<МДА	<МДА
$^{90}\text{Kr}$	$9,16 \cdot 10^{-2}$	$6,08 \cdot 10^{-2}$	$3,52 \cdot 10^{-2}$	$3,90 \cdot 10^{-3}$
$^{90}\text{Rb}$	$1,42 \cdot 10^{-2}$	$1,53 \cdot 10^{-2}$	$1,70 \cdot 10^{-2}$	$2,06 \cdot 10^{-2}$
$^{91}\text{Rb}$	$5,62 \cdot 10^{-2}$	$3,48 \cdot 10^{-2}$	$2,30 \cdot 10^{-2}$	$1,25 \cdot 10^{-2}$
$^{93}\text{Sr}$	$5,78 \cdot 10^{-3}$	<МДА	$6,96 \cdot 10^{-3}$	$6,84 \cdot 10^{-3}$
$^{94}\text{Sr}$	$5,30 \cdot 10^{-2}$	$1,91 \cdot 10^{-2}$	$2,41 \cdot 10^{-2}$	$9,18 \cdot 10^{-3}$
$^{94}\text{Y}$	<МДА	<МДА	$4,96 \cdot 10^{-3}$	<МДА
$^{101}\text{Tc}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	<МДА	$1,13 \cdot 10^{-3}$	$2,80 \cdot 10^{-3}$
$^{136}\text{I}$	<МДА	<МДА	<МДА	$6,10 \cdot 10^{-3}$



продолжение таблицы 1.

<sup>137</sup> Xe	1,89·10 <sup>2</sup>	1,35·10 <sup>2</sup>	2,36·10 <sup>2</sup>	1,55·10 <sup>2</sup>
<sup>138</sup> Xe	1,29·1001	8,00·10 <sup>2</sup>	6,43·10 <sup>2</sup>	<МДА
<sup>139</sup> Xe	5,01·10 <sup>2</sup>	4,02·10 <sup>2</sup>	1,90·10 <sup>2</sup>	1,00·10 <sup>2</sup>
<sup>140</sup> Cs	1,94·10 <sup>2</sup>	1,99·10 <sup>2</sup>	1,73·10 <sup>2</sup>	9,65·10 <sup>3</sup>

Чтобы оценить удельную активность идентифицированных изотопов на момент выхода из активной зоны рассчитали удельную активность изотопа <sup>19</sup>O. Полученные значения удельной активности изотопов на момент выхода из активной зоны показали, что активность теплоносителя определяется, в основном, суммарной удельной активностью продуктов активации (<sup>16</sup>N, <sup>19</sup>O, <sup>28</sup>Al, <sup>56</sup>Mn, <sup>27</sup>Mg).

Таблица 2. Удельная активность изотопов на выходе из активной зоны

Изотоп	Удельная активность,
<sup>16</sup> N	7,7·10 <sup>3</sup>
<sup>19</sup> O	5,0·10 <sup>3</sup>
<sup>28</sup> Al	7,3·10 <sup>2</sup>
<sup>90</sup> Rb	1,0·10 <sup>2</sup>
<sup>91</sup> Rb	2,1·10 <sup>2</sup>
<sup>90</sup> Kr	5,4·10 <sup>2</sup>
<sup>94</sup> Sr	1,9·10 <sup>2</sup>
<sup>138</sup> Xe	3,2·10 <sup>2</sup>
<sup>139</sup> Xe	2,3·10 <sup>2</sup>

Суммарная удельная активность продуктов активации, продуктов деления и теплоносителя составляет 0,7·106, 1,6·103 и 0,8·106 Бк/см<sup>3</sup> соответственно.

Суммарная активность продуктов активации теплоносителя выше примерно в 100 раз суммарной активности продуктов деления на момент выхода из активной зоны. В период работы реактора на мощности 6 МВт расход теплоносителя через систему КГО изменялся от 1,41 до 0,38 кг/с, что привело к увеличению времени доставки теплоносителя от 40 до 150 с и снижению активности <sup>19</sup>O около 10 раз. Наибольшую относительную активность среди продуктов деления имеют радионуклиды: <sup>138,139</sup>Xe, <sup>90</sup>Kr и <sup>90,91</sup>Rb, <sup>94</sup>Sr, поэтому целесообразно для диагностики состояния твэлов ВОТК беспроботборным методом использовать эти радионуклиды в качестве реперных.

По результатам физических исследований можно сделать следующие выводы:

- в качестве реперных радионуклидов целесообразно использовать изотопы <sup>138,139</sup>Xe, <sup>90</sup>Kr, <sup>90,91</sup>Rb, <sup>94</sup>Sr, имеющие наибольшую активность среди продуктов деления и приемлемую для гамма-спектрометрических измерений погрешность измерения;

- для повышения точности измерения активности реперных нуклидов необходимо увеличить время доставки теплоносителя;

- для использования гамма – спектрометрического метода контроля активности теплоносителя в системе КГО реактора ИВГ.1М необходима калибровка системы. Калибровка должна проводиться с целью установления зависимости между объемной активностью отдельных продуктов деления, вышедших в теплоноситель и степенью разгерметизации твэлов.

Гамма-спектрометрический беспроботборный метод контроля активности теплоносителя целесообразно использовать как дополнительный метод контроля в действующей системе КГО реактора ИВГ.1М.

## СВОЙСТВА X(3872) МЕЗОНА В КОВАРИАНТНОЙ КВАРКОВОЙ МОДЕЛИ

Динейхан М., Жаугашева С.А., Сайдунлаева Г.Г.  
КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Узкий резонанс X(3872), схожий по свойствам с чармонием, был открыт в 2003 году коллаборацией Belle [1] в реакции  $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- J/\psi$ . Данный резонанс распадается на  $\pi^+ \pi^- J/\psi$  и имеет массу  $m_x = 3872.0 \pm 0.6(\text{stat}) \pm 0.5(\text{syst})$  Мэв, которая близка к порогу рождения D и D\* мезонов:  $M_{D^0} + M_{D^*0} = 3871.81 \pm 0.25$  Мэв [2]. Было найдено, что его ширина меньше 2.3 Мэв на 90% уровне достоверности. Это состояние вскоре было подтверждено коллаборацией BaBar [3] и в  $p\bar{p}$ -столкновениях в лаборатории Ферми на теватроне в экспериментах CDF [4] и DØ [5].

Наиболее точное измерение массы, сделанное до настоящего времени есть  $M_x = 3871.61 \pm 0.16 \pm 0.19$  Мэв [6] и [7]. Усреднённое значение массы, приведенное в работе [4], равно

$$M_x = 3871.61 \pm 0.22 \text{ Мэв} \quad (1)$$

Из наблюдений распада  $X(3872) \rightarrow J/\psi \gamma$ , сделанного коллаборациями Belle [8] и BaBar [9], а также из углового анализа, выполненного коллаборацией CDF [10] было показано, что квантовыми числами X(3872) могут быть либо  $J^{PC} = 1^{++}$ , либо  $2^{+-}$ . Однако, наблюдение распадов  $X \rightarrow D^0 \bar{D}^0 \pi^0$  коллаборациями Belle и BaBar [11,12] позволило исключить выбор  $2^{+-}$ , поскольку данная мода, проходящая вблизи порога, должна быть сильно подавлена для  $J = 2$ .

Коллаборация Belle сообщила о наблюдении моды распада  $X \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 J/\psi$  [8] с ярко выраженным пиком в системе трёх пионов в районе 750-775 Мэв, что означает доминирование подпорогового процесса  $X(3872) \rightarrow \omega J/\psi$  в данном распаде. Было найдено, что брэнчинг этой моды почти такой же как и брэнчинг моды  $X \rightarrow \pi^+ \pi^- J/\psi$ :

$$\frac{B(X \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- \pi^0)}{B(X \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-)} = 1.0 \pm 0.4(\text{stat}) \pm 0.3(\text{syst}) \quad (2)$$

Это означает сильное нарушение изоспина, поскольку трёхпионный распад идёт в основном через промежуточный  $\omega$ -мезон с изоспином 0, в то время как двухпионный распад идёт в основном через промежуточный  $\rho$ -мезон с изоспином 1. Кроме того, поскольку двухпионный распад идёт в основном через промежуточный  $\rho$ -мезон, то весьма трудно это объяснить, используя интерпретацию X(3872) как простого состояния чармония с изоспином 0.

Наиболее интригующим вопросом в настоящее время является вопрос интерпретации X(3872)-мезона либо как сильносвязанной молекулы с энергией связи  $M_x - (M_{D^0} + M_{D^*0}) = -0.30 \pm 0.40$  Мэв, либо как тетракварка, являющегося связанным состоянием цветных дикварков. Интерпретация X(3872) как тетракварка была



впервые предложена и применена для описания имеющихся экспериментальных данных в работе [13]. Используя эффективные лагранжианы для трёхчастичных взаимодействий с константами связи, оцененными из анализа, аналогичному случаю лёгких мезонов, были вычислены ширины сильных распадов  $X \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$  и  $X \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 J/\psi$ . Было найдено, что ширина распада X-мезона составляет около 1.6 МэВ в соответствии с экспериментальной границей.

С помощью ковариатной кварковой [15] модели вычислены ширины распадов:  $X \rightarrow J/\psi 2\pi(3\pi)$  и  $X \rightarrow D^0 + \bar{D}^0 + \pi^0$ , идущие через промежуточные состояния  $\rho(\omega)$  и  $D$ . Для разумных значений параметра  $\Lambda_x$ , который характеризует размер X(3872)-мезона, было найдено согласие с экспериментальными данными. Было также обсуждено возможное влияние X(3872) -мезона на поведение полного сечения диссоциации  $J/\psi$  - мезона лёгкими частицами. Мы берем массы и ширины  $\rho(\omega)$  -мезонов из [2] (все размерные величины даны в единицах МэВ):  $m_\rho = 775,49$ ,  $\Gamma_\rho = 149,2$ ,  $B(\omega \rightarrow 2\pi) = 1$ ,  $m_\omega = 782,65$ ,  $\Gamma_\omega = 8,49$ ,  $B(\omega \rightarrow 3\pi) = 0,892$ . При численных расчётах мы используем значения свободных параметров модели, которые были определены с помощью фита наименьших квадратов [15].

Имеются два новых свободных параметра: угол смешивания  $\theta$  и параметр  $\Lambda_x$ , характеризующий размер X-мезона. Мы изменяли параметр  $\Lambda_x$  в достаточно широком интервале  $2.5 \leq \Lambda_x \leq 4$  ГэВ, и нашли, что отношение

$$\frac{\Gamma(X_u \rightarrow J/\psi + 3\pi)}{\Gamma(X_u \rightarrow J/\psi + 2\pi)} \approx 0.25 \quad (3)$$

очень устойчиво при вариации  $\Lambda_x$ . Тогда, используя данный результат и среднее значение, полученное из экспериментальных данных, приведенных в уравнении (2), можно найти

$$\frac{\Gamma(X_{l,h} \rightarrow J/\psi + 3\pi)}{\Gamma(X_{l,h} \rightarrow J/\psi + 2\pi)} \approx 0.25 \times \left( \frac{1 \pm \tan\theta}{1 \mp \tan\theta} \right) \approx 1, \quad (4)$$

что даёт  $\theta \approx \pm 18.4^\circ$  для  $X_l \rightarrow "+"$  и  $X_h \rightarrow "-"$  соответственно. Эти результаты согласуются с результатами полученных в работах [13]:  $\theta \approx \pm 20^\circ$  и [16]:  $\theta \approx \pm 23.5^\circ$ . Ширина распада является достаточно чувствительной к изменению параметра  $\Lambda_x$  как это показано на Рисунке 6. В данном интервале абсолютное значение ширины распада  $\Gamma(X(3872))$   $\Gamma(X \rightarrow J/\psi + \nu\pi)$  меньше 0.30 МэВ, что соответствует экспериментальному ограничению  $\Gamma(X(3872)) \leq 2.3$  МэВ.

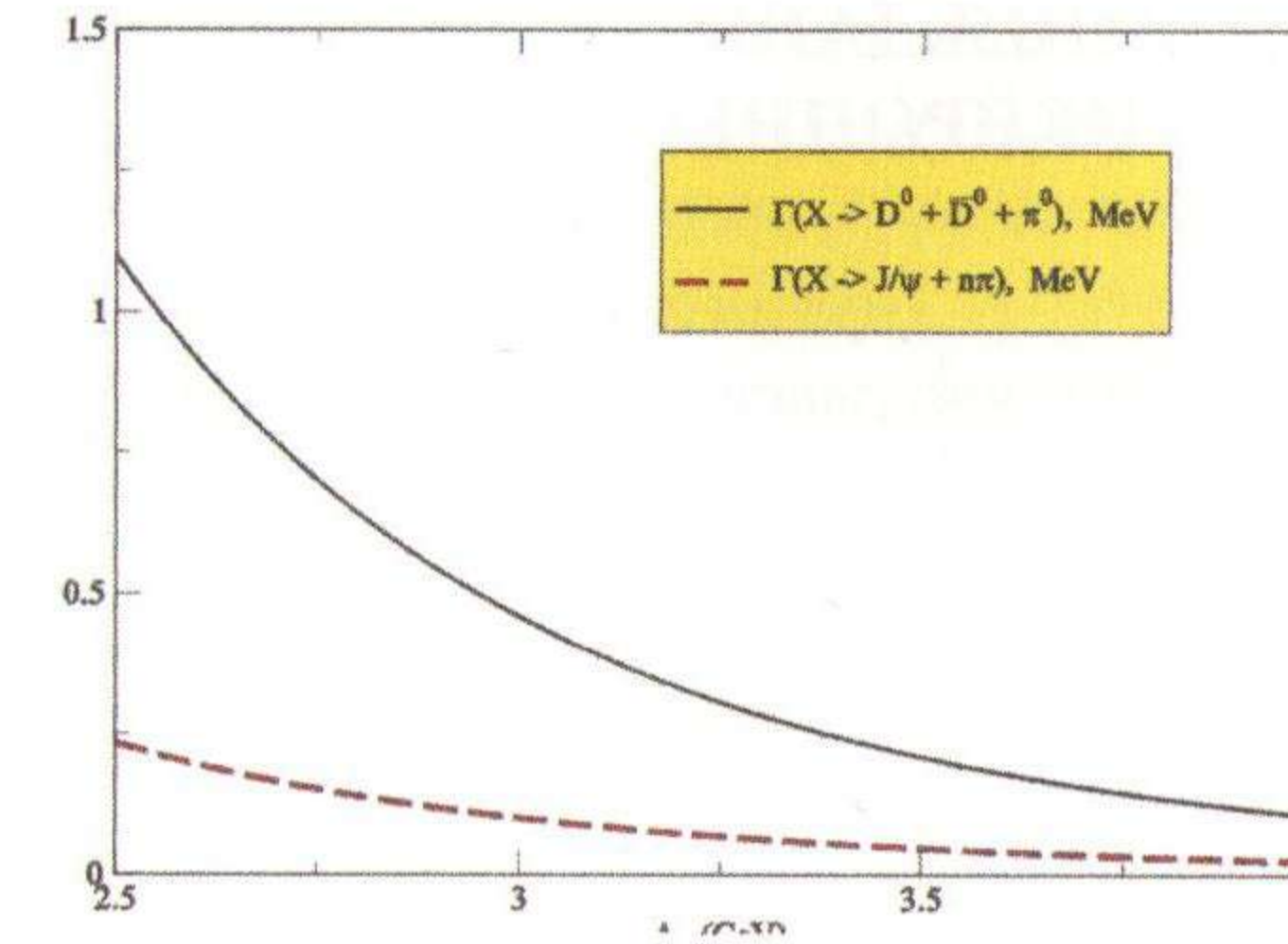


Рисунок 6 – Зависимость ширин распадов  $\Gamma(X_l \rightarrow \bar{D}^0 D^0 \pi^0)$  и  $\Gamma(X \rightarrow J/\psi + \pi\pi)$  от параметра  $\Lambda_x$ .

### Литература

1. Choi S. K. et al. [Belle Collaboration]. // Phys. Rev. Lett.- 2003.-Vol.91.- P.262001.
2. Nakamura K. et al. [Particle Data Group Collaboration]. // J. Phys. G G. - 2010.-Vol.37.- P.075021.
3. Aubert B. et al. [BABAR Collaboration]. //Phys. Rev. Lett. - 2004.- Vol.93.- P.041801.
4. Acosta D. E. et al.[CDF Collaboration]. // Phys. Rev. Lett.- 2004.-Vol.93.- P.072001.
5. Abazov V. M. et al. [D0 Collaboration] // Phys. Rev. Lett.- 2004.-Vol.93.- P.162002.
6. Aaltonen T. et al. [CDF Collaboration]. // Phys. Rev. Lett. -2009. -Vol.103. -P.152001.
7. Yi K. and f. t. C. collaboration. // arXiv:0910.3163 [hep-ex].
8. Abe K. et al. [Belle Collaboration]. // arXiv:hep-ex/0505037
9. Aubert B. et al. [BABAR Collaboration]. //Phys. Rev. D. -2006.- Vol.74.- P.071101.
10. Abulencia A. et al. [CDF Collaboration]. // Phys. Rev. Lett.- 2007. -Vol.98.- P.132002.
11. Gokhroo G. et al. [Belle Collaboration]. //Phys. Rev. Lett. - 2006.- V.97. -P.162002.
12. Aubert B. et al. [BABAR Collaboration]. // Phys. Rev. D.- 2008. -Vol.77.- P.011102.
13. Maiani L., Piccinini F., Polosa A. D. and Riquer V // Phys. Rev. D. 2005. V.71. P.014028.
14. Bignamini C., Grinstein B., Piccinini F., Polosa A. D., Riquer V. and Sabelli C. // Phys. Lett. B. 2010. V.684. P.228.
15. M.Dineykhan, M.A.Ivanov, G.G.Saidullaeva//Phys. of Particles and Nuclei, 2012,V.43,№3. p.749-782
16. Nielsen M., Navarra F. S. and Lee S. H. // Phys. Rept. 2010. V.497. P.41.



# ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИС С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Кучин Я.И.

ТОО «Геотехносервис», г.Алматы, Казахстан

На современном этапе развития геологоразведочных работ геофизические исследования скважин (ГИС) стали одним из основных источников информации о составе и свойствах геологических объектов, условиях их залегания. При обработке пластово-инфильтрационных месторождений урана геофизическим методам исследования скважин отводится особое место и роль. Связано это, прежде всего с тем, что подавляющее большинство скважин проходятся без отбора керна. Поэтому ГИС является практически единственной информационной поддержкой всех разноплановых видов работ, выполняемых при обработке этих месторождений.

## Задачи решаемые с помощью ГИС:

### Геологические:

- фациально-литологическое расчленение разреза;
- определение эффективной мощности проницаемых пород продуктивного горизонта;
- определение глубин залегания рудных тел;
- определение параметров уранового оруденения в рудных интервалах (мощность, массовая доля урана, стволовые линейные запасы);
- определение коэффициентов фильтрации рудовмещающего, надрудного и подрудного горизонтов.

### Технические:

- определение траектории ствола скважины;
- изучение конфигурации ствола скважины и определение ее истинного диаметра;
- определение целостности обсадных колонн;
- определение интервала установки фильтра и контроль правильности его установки;
- контроль цементации и качества гидроизоляции рудовмещающего горизонта от вышележащих пород в затрубном пространстве.

### Технологические:

- изучение динамики движения технологических растворов в разрезе и в плане блока;
- изучение динамики выщелачивания урана в процессе отработки полигона;
- определение путей растекания и потерь рабочих растворов по надпродуктивному горизонту;
- изучение динамики растекания растворов за контуры блока в процессе закисления, отработки и завершения процесса ПСВ;
- изучение профиля приемистости фильтра в процессе эксплуатации скважины и оценка расхода технологических растворов в местах нарушений обсадных колонн.

Задачи литологического расчленения разреза и определения коэффициентов фильтрации решаются с помощью электрокаротажа (КС, ПС).

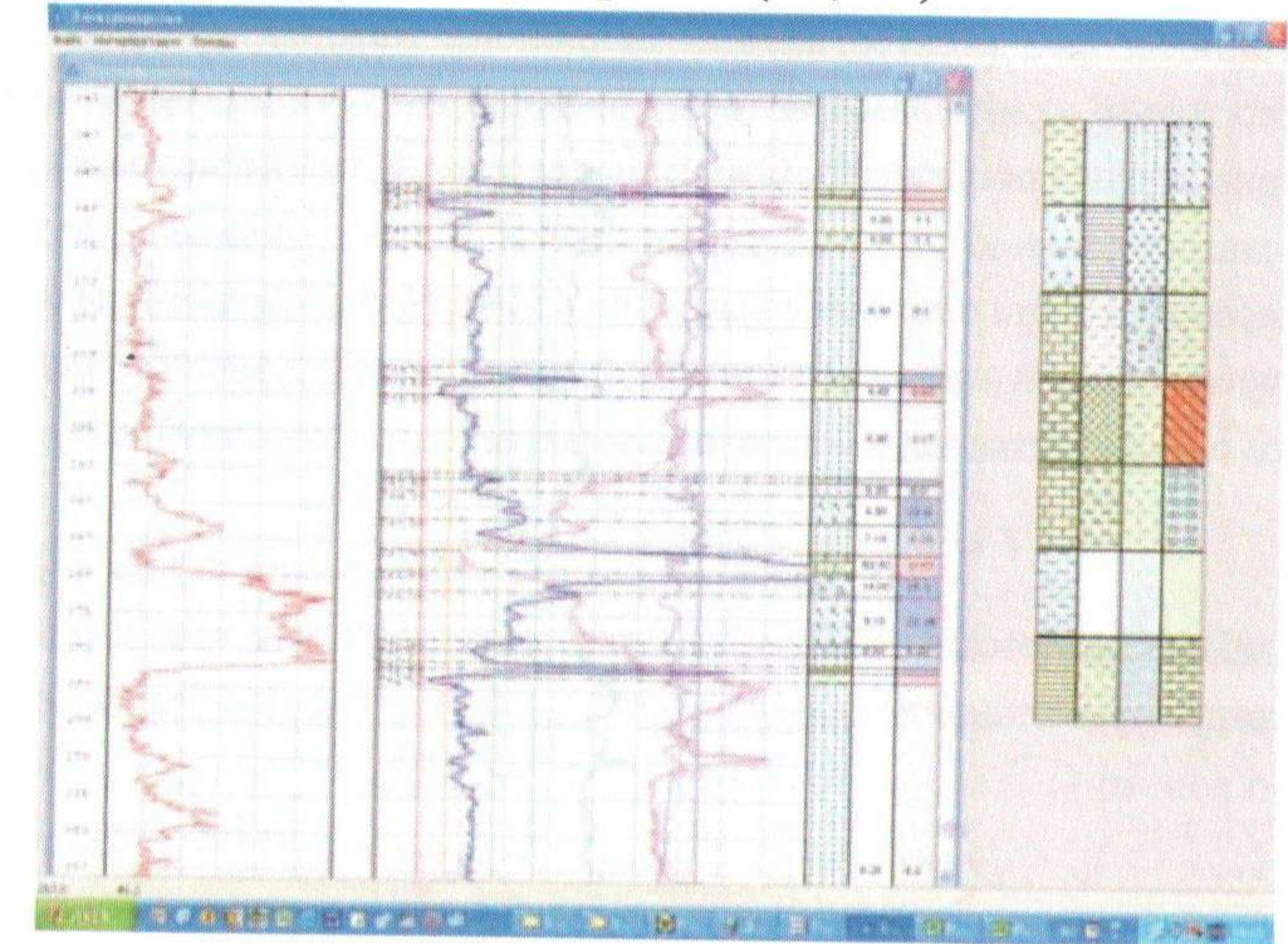


Рис.1 Программа интерпретации электрокаротажа

Все задачи можно разделить на следующие категории:

■ Формализуемые – задачи имеющие четко сформулированный алгоритм решения, как правило, вычислительные задачи (решение уравнений, сортировка, интегрирование), для которых разработано много методов.

■ Трудноформализуемые – алгоритм есть, но его качество и достижимость решения оценить трудно – задачи большой размерности, моделирование сложных электронных устройств

■ Неформализуемые – имеет в своей постановке неявно заданные функции и параметры. К этому классу относятся задачи распознавания образов ( цель отнести входной образ к одному из заранее известных – распознавание символов, например), кластеризации (группировка данных по присущей им близости, причем число кластеров может быть заранее не известно), предсказания (определение параметров на будущий, еще не наступивший момент времени по известным параметрам предыдущие моменты времени), аппроксимации функций (определение по данным функции наиболее приближающейся к неизвестной, задача актуальна при моделировании сложных динамических систем).

В настоящее время автоматизирована интерпретация только кривой КС, однако опытный интерпретатор использует и данные других методов (ПС, КМ). Задача комплексной интерпретации электрокаротажа с учетом всех данных каротажей является неформализуемой и для ее решения был выбран метод анализа с помощью нейронных сетей.

Искусственные нейронные сети (ИНС) — математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при



попытке смоделировать эти процессы.

ИНС представляют собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. И тем не менее, будучи соединёнными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, такие локально простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи.

Математически нейрон представляет собой взвешенный сумматор, единственный выход которого определяется через его входы и матрицу весов следующим образом:

$$Y = f(u); u = \sum_{i=1}^n w_i x_i + w_0 x_0$$

Здесь  $x_i$  и  $w_i$  — соответственно сигналы на входах нейрона и веса входов, функция  $f$  называется индуцированным локальным полем, а  $f(u)$  - передаточной функцией.

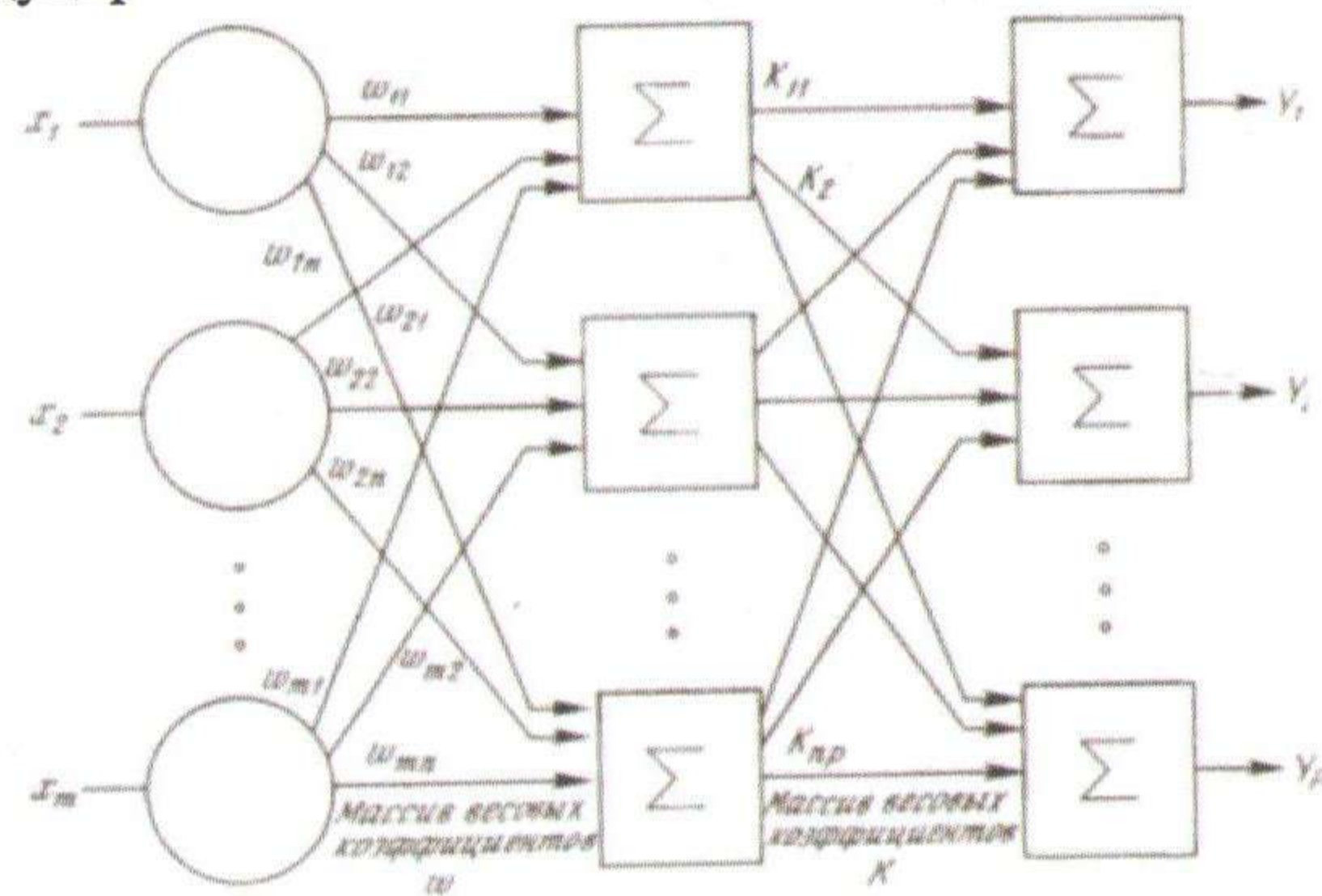


Рис 2. Схема двухслойной нейронной сети

### Основные отличительные свойства нейронных сетей:

**Обучаемость.** НС могут менять свое поведение в зависимости от накопленного опыта. После предъявления входных сигналов (возможно, вместе с требуемыми выходами) они самоорганизовываются, чтобы обеспечивать требуемую реакцию. Было разработано множество обучающих алгоритмов, каждый со своими сильными и слабыми сторонами.

**Обобщение.** При правильном обучении сеть становится нечувствительной к малым изменениям входных сигналов (например, шуму) и дает нужный результат на выходе. Важно отметить, что НС делает обобщения автоматически благодаря своей структуре, а не с помощью использования специально написанных для этого компьютерных.

**Абстрагирование.** Если предъявить сети несколько искаженных вариантов входного образа, то сеть сама может создать на выходе идеальный образ, даже если она с ним никогда не встречалась. То есть, в некотором смысле она научится порождать то, что никогда не видела.

### Этапы решения задач с помощью нейронных сетей.

- Сбор данных для обучения;
- Подготовка и нормализация данных;
- Выбор топологии сети;
- Экспериментальный подбор характеристик сети;
- Экспериментальный подбор параметров обучения;
- Собственно обучение;
- Проверка адекватности обучения;
- Корректировка параметров, окончательное обучение;
- Вербализация сети с целью дальнейшего использования.

### Сбор данных для обучения.

Выбор данных для обучения сети и их обработка является самым сложным этапом решения задачи. Набор данных для обучения должен удовлетворять нескольким критериям:

**Репрезентативность** — данные должны иллюстрировать истинное положение вещей в предметной области;

**Непротиворечивость** — противоречивые данные в обучающей выборке приведут к плохому качеству обучения сети.

Исходные данные преобразуются к виду, в котором их можно подать на входы сети. Каждая запись в файле данных называется *обучающей парой* или *обучающим вектором*. Обучающий вектор содержит по одному значению на каждый вход сети и, в зависимости от типа обучения (с учителем или без), по одному значению для каждого выхода сети. Обучение сети на «сыром» наборе, как правило, не даёт качественных результатов. Существует ряд способов улучшить «восприятие» сети.

**Нормировка** выполняется, когда на различные входы подаются данные разной размерности. Например, на первый вход сети подаются величины со значениями от нуля до единицы, а на второй — от ста до тысячи. При отсутствии нормировки значения на втором входе будут всегда оказывать существенно большее влияние на выход сети, чем значения на первом входе. При нормировке размерности всех входных и выходных данных сводятся воедино;

**Фильтрация** выполняется для «зашумленных» данных.

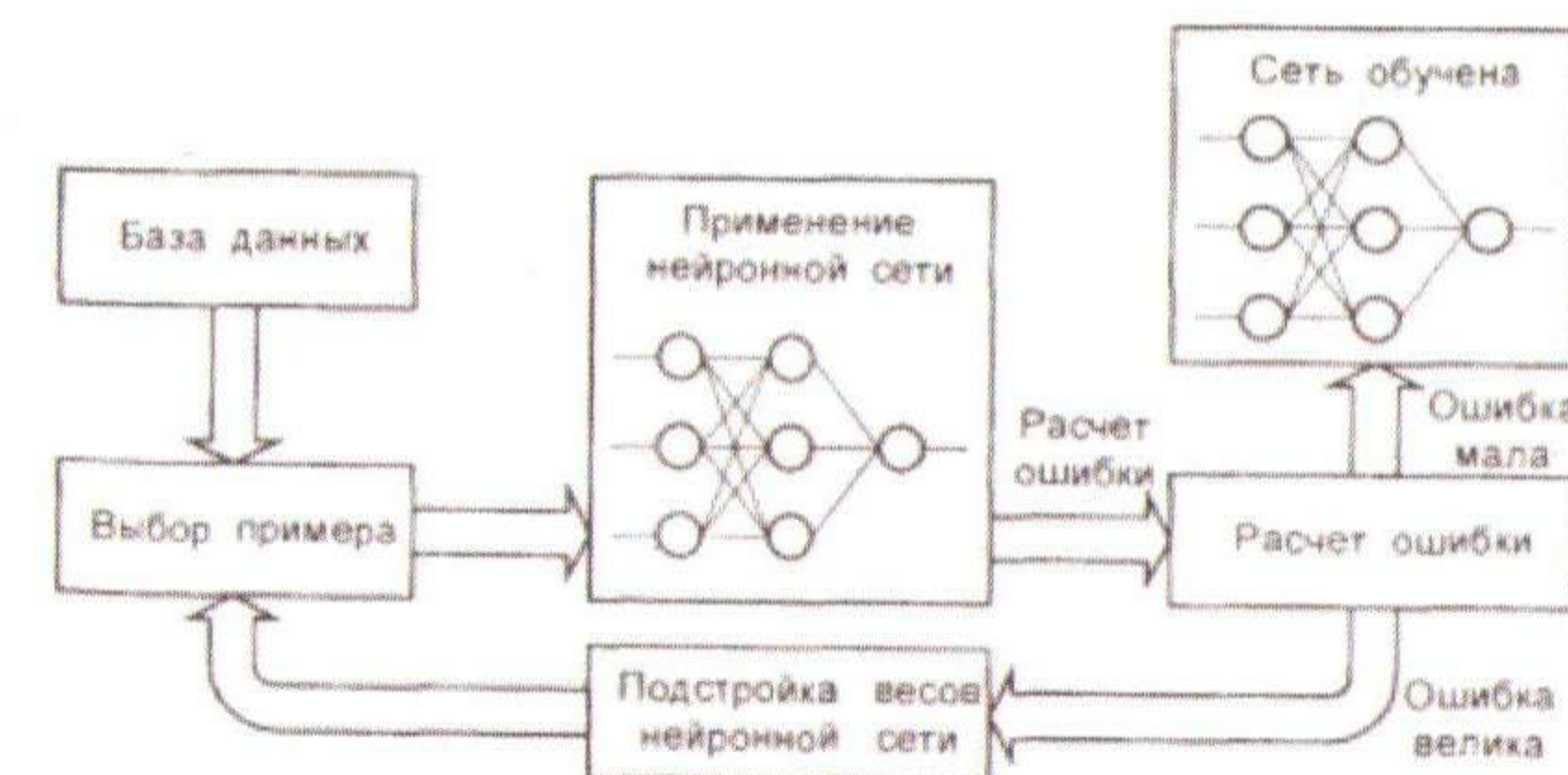


Рис 3. Общая схема обучения нейронной сети



Обучение проводилось на данных месторождения «Буденновское».

Процент распознавания, т.е. совпадения интерпретации с «эталоном» для разных скважин составил от 60 до 80.

В настоящее время проводятся исследования по повышению процента распознавания. На рисунке 4 показана эталонная интерпретация и результат, полученный с помощью нейронной сети. Совпадение составляет 82%

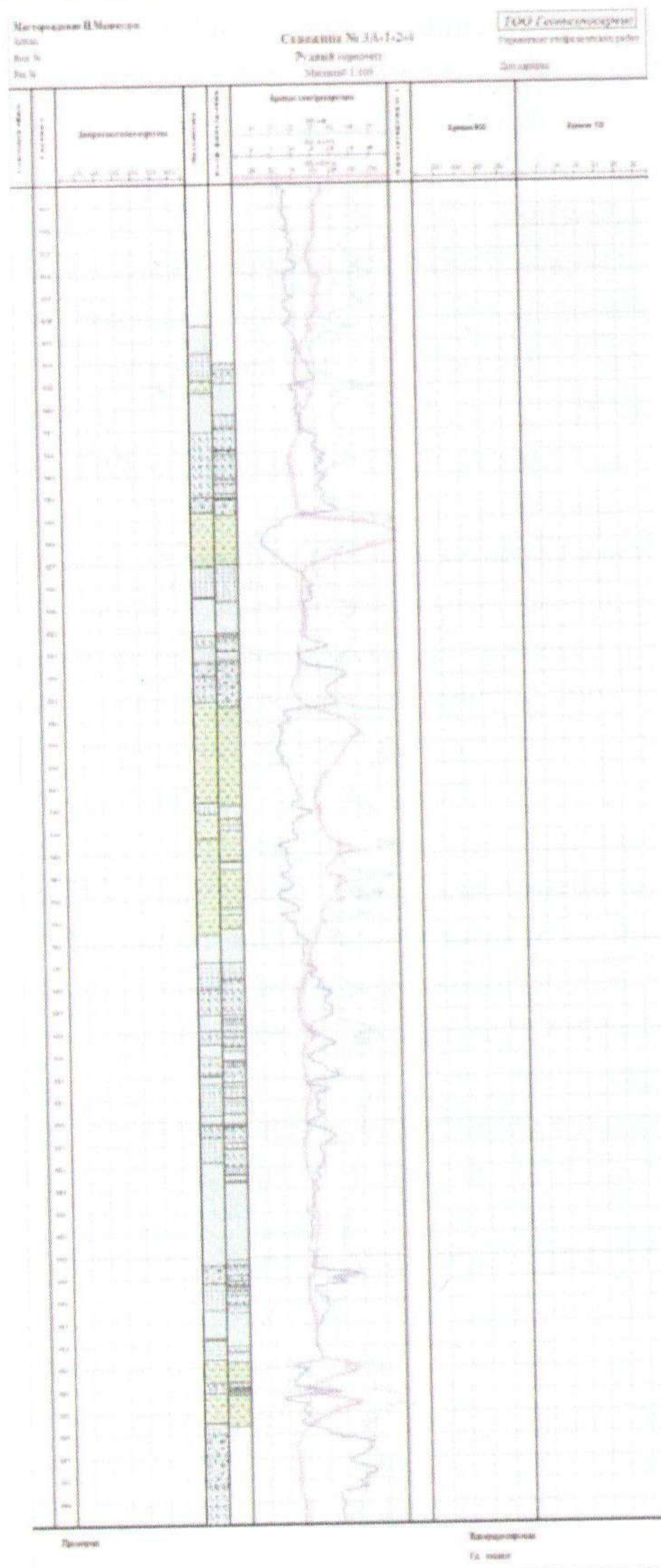


Рис 4. Пример интерпретации по трем кривым (КС, ПС, ИК)

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ-РЕЭКСТРАКЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗАКИСИ ОКИСИ ПРИРОДНОГО УРАНА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И ПОТРЕБЛЯЕМЫХ РЕАГЕНТОВ

Гофман А.А., Русин Ю.Г., Ярошенко Н.Н., Крыжановский П.А.  
АО «Ульбинский металлургический завод», г. Усть-Каменогорск

Одной из целей политики качества, экологии и охраны здоровья и обеспечения безопасности труда АО «УМЗ» является снижение вредного воздействия производственной деятельности на окружающую среду и обеспечение условий постоянного улучшения состояния окружающей среды.

Наименее затратным направлением для Уранового производства АО «УМЗ», связанным с улучшением состояния окружающей среды, можно считать отработку возможности снижения объемов образующихся жидких радиоактивных отходов (ЖРО). В технологии переработки химического концентрата природного урана (ХКПУ) ЖРО образуются в виде рафинатов и маточных растворов. Маточные растворы образуются в ходе фильтрации пульпы полиуранатов аммония (ПУА), полученных из реэкстракта в процессе осаждения ПУА. Одним из способов сокращения количества образующихся маточных растворов, при условии, что производительность останется на прежнем уровне, является увеличение массовой концентрации урана в реэкстракте, что позволит снизить удельный расход требуемых реагентов.

На рисунке 1 представлена схема образования ЖРО в технологии переработки ХКПУ до ЗОУ.

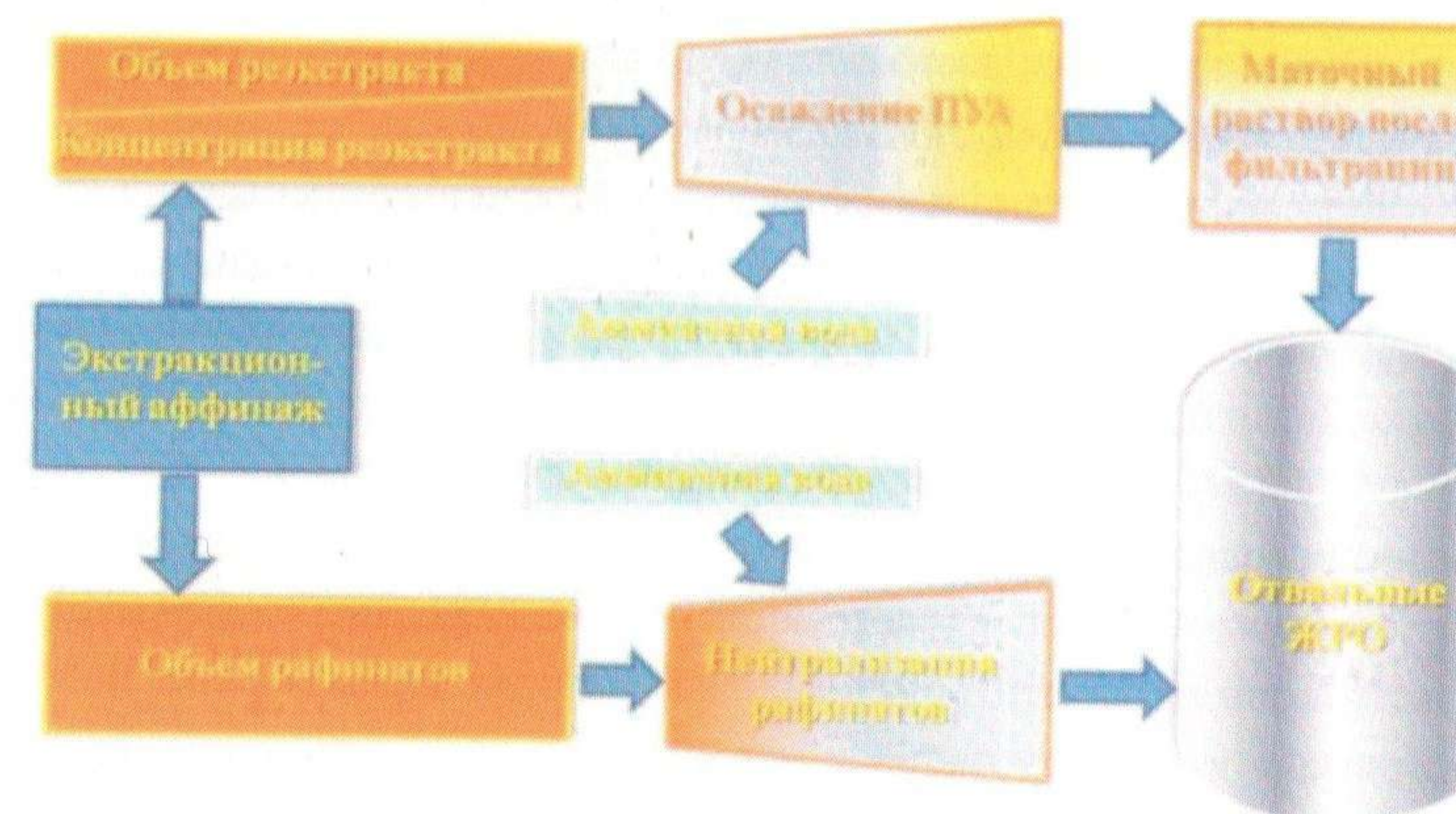


Рисунок – 1 Схема образования ЖРО в технологии переработки ХКПУ до ЗОУ

Для увеличения массовой концентрации урана в реэкстракте было предложено оптимизировать существующее аппаратное оформление технологического процесса экстракции путем увеличения количества ступеней, участвующих в основном процессе



за счет снижения количества ступеней, участвующих в отмывки насыщенного экстракта раствором кислоты. Таким образом, появляется возможность повысить массовую концентрацию урана в насыщенном экстракте, направляемом на реэкстракцию и, в результате, повысить насыщение реэкстракта.

С целью получения реэкстракта в промышленных условиях, с использованием имеющихся в наличии промышленных аппаратов, массовая концентрация урана в котором была бы максимально приближенной к теоретической, были проведены промышленные испытания.

## 1 Промышленные испытания

### 1.1 Оптимизация схемы обвязки каскадов центробежных экстракторов технологических процессов экстракции и реэкстракции.

В технологии получения природной закиси-окиси урана (ЗОУ) из ХКПУ на экстракционном переделе была изменена схема подачи реагентов в каскады центробежных экстракторов как показано в приложении 1. Предложенная схема, позволяет увеличить количество ступеней, участвующих в извлечении урана в виде уранилнитрата из азотнокислого раствора в экстрагент за счет снижения количества ступеней, участвующих в отмывке насыщенного ураном экстракта раствором кислоты. Данная схема подачи реагентов позволила увеличить коэффициент извлечения урана из растворов уранилнитрата в экстрагент, что привело к увеличению массовой концентрации урана. Увеличение массовой концентрации урана в насыщенном экстракте привело к увеличению количества урана, поступающего в каскад центробежных экстракторов технологического процесса реэкстракции без дополнительного увеличения объема насыщенного экстракта, а, следовательно, и без увеличения нагрузки на каскад центробежных экстракторов. Все, вышперечисленные изменения, позволили увеличить массовую концентрацию урана в реэкстракте с 87 г/л до 115 г/л.

С целью определения максимальных значений массовой концентрации урана в насыщенном экстрагенте и реэкстракте с использованием существующего, оптимизированного аппаратного оформления технологических процессов экстракции и реэкстракции в цехе, были проведены промышленные испытания.

### 1.2 Промышленные испытания и их результаты

Испытания проводили на промышленном оборудовании 2-х технологических веток в круглосуточном режиме. Процесс экстракции вели на 10 центробежных экстракторах, процесс реэкстракции на 15 центробежных экстракторах. Время проведения испытаний соответствовало интервалу июнь-август 2012 г. В ходе испытаний осуществляли настройку процесса экстракционного аффинажа на получение реэкстракта с концентрацией урана 70-120 г/л и анализировали «содержание урана общего» в экстракте, рафинатах, реэкстракте и регенерированном экстрагенте. В собранном массиве данных численных значений анализируемого показателя установили его граничные и средние величины. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты статистического анализа показателя «содержание урана общего»

Статистический показатель	Содержание урана общего, г/л			
	Экстракция		Реэкстракция	
	Экстракт	Рафинат	Реэкстракт	Регенерированный экстрагент
Min	56,1	0,003	87,0	0,007
Max	70,0	0,038	120,0	2,320
Ср	64,1	0,022	99,7	0,212

Результаты исследований, приведенные в таблице 1, показывают, что в период испытаний максимальная концентрация урана в экстракте и рафинатах составляла 70,0 и 0,038 г/л соответственно. Средняя концентрация урана в реэкстракте находилась на уровне 99,7 г/л. Максимальная концентрация урана в реэкстракте составляла 120 г/л. Регенерированный экстрагент содержал максимальные концентрации урана 2,32 г/л. Необходимо отметить, что максимальные концентрации урана в регенерированном экстрагенте получены в период настройки процесса на реэкстракт с концентрацией урана до 103 г/л, что не является граничным значением исследуемых концентраций (120 г/л). Указанный факт свидетельствует о том, что получение столь высоких концентраций урана в регенерированном экстрагенте произошло по причине, не зависящей от увеличения концентрации урана в реэкстракте.

### 1.3 Анализ полученных данных

Экстракционный аффинаж относится к процессам, на которые, оказывает влияние целый ряд факторов. В условиях многофакторного воздействия определить тенденцию влияния того или иного параметра возможно только путем сглаживания случайных колебаний. Для исключения влияния случайных воздействий на значения контрольных точек процесса экстракционного аффинажа, динамический ряд собранного массива данных (июнь-август 2012 г) обработали по методу «скользящей средней» с продолжительностью периода равной 10. Графическая зависимость содержания урана в регенерированном экстрагенте от концентрации урана в реэкстракте и линия тренда «скользящей средней» приведены на рисунке 2.

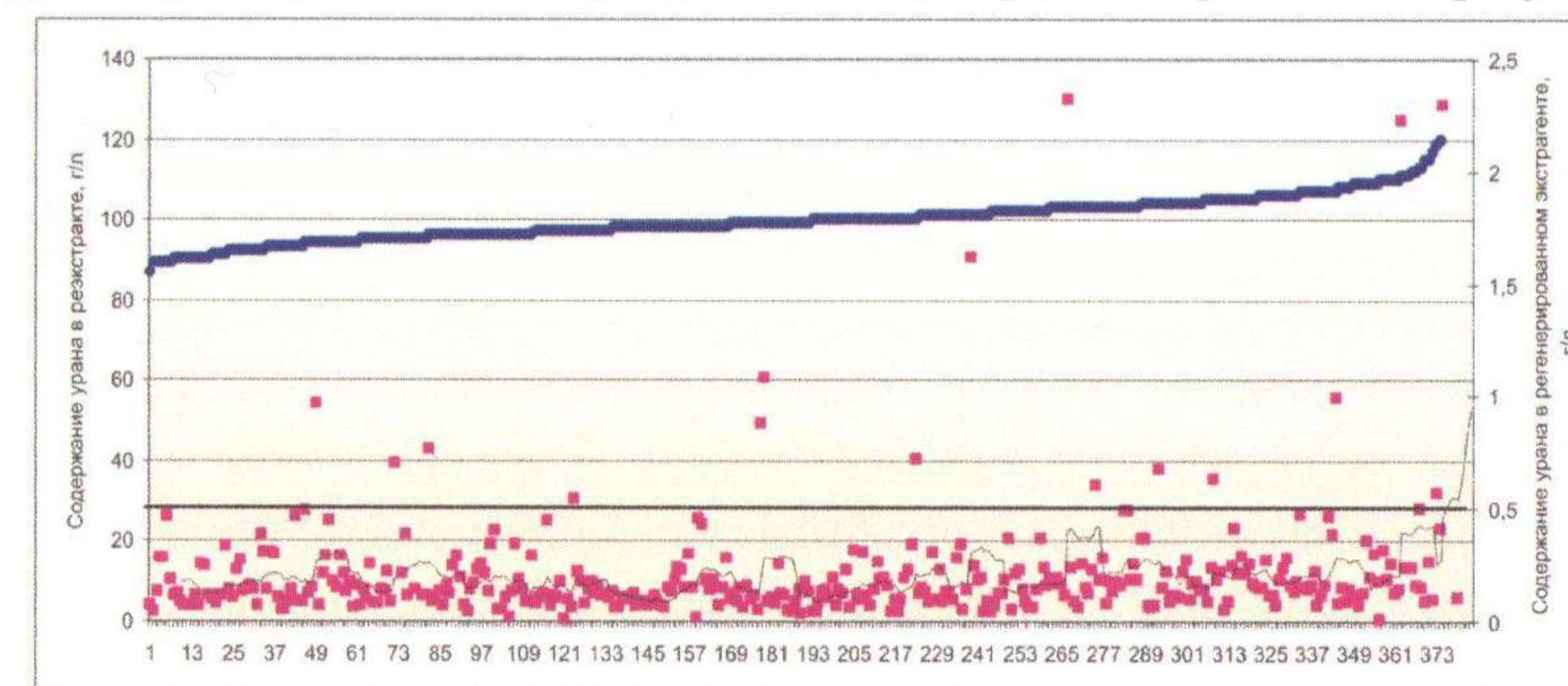


Рисунок 2 - Зависимость содержания урана в регенерированном экстрагенте от концентрации урана в реэкстракте (технологическая ветка процесса реэкстракции, поз (Реэк-р)<sub>1-15</sub>)



Результаты исследований, приведенные на рисунке 2, показывают, что угол наклона линии тренда «скользящей средней» параметра «содержание урана в регенерированном экстрагенте» в области концентраций урана в резкстракте от 100 до 120 г/л имеет ярко выраженную тенденцию роста с превышением допустимого уровня ( $> 0,5$  г/л) на ветке, (Резк-р)<sub>1-15</sub>.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при ведении экстракционного аффинажа в режиме настройки процесса на получение резкстракта с концентрацией урана 120 г/л, гарантированного извлечения урана до содержаний в регенерированном экстрагенте менее 0,5 г/л, вероятнее всего, быть не может.

Для установления предельной концентрации урана в резкстракте, позволяющей получать, с большой степенью вероятности, регенерированный экстрагент с содержанием урана  $< 0,5$  г/л, собранный в период испытаний массив данных разбили на группы по интервалам концентраций урана в резкстракте и рассчитали процент повышенного по содержанию урана регенерированного экстрагента для каждой группы. Полученные результаты приведены на рисунке 3.

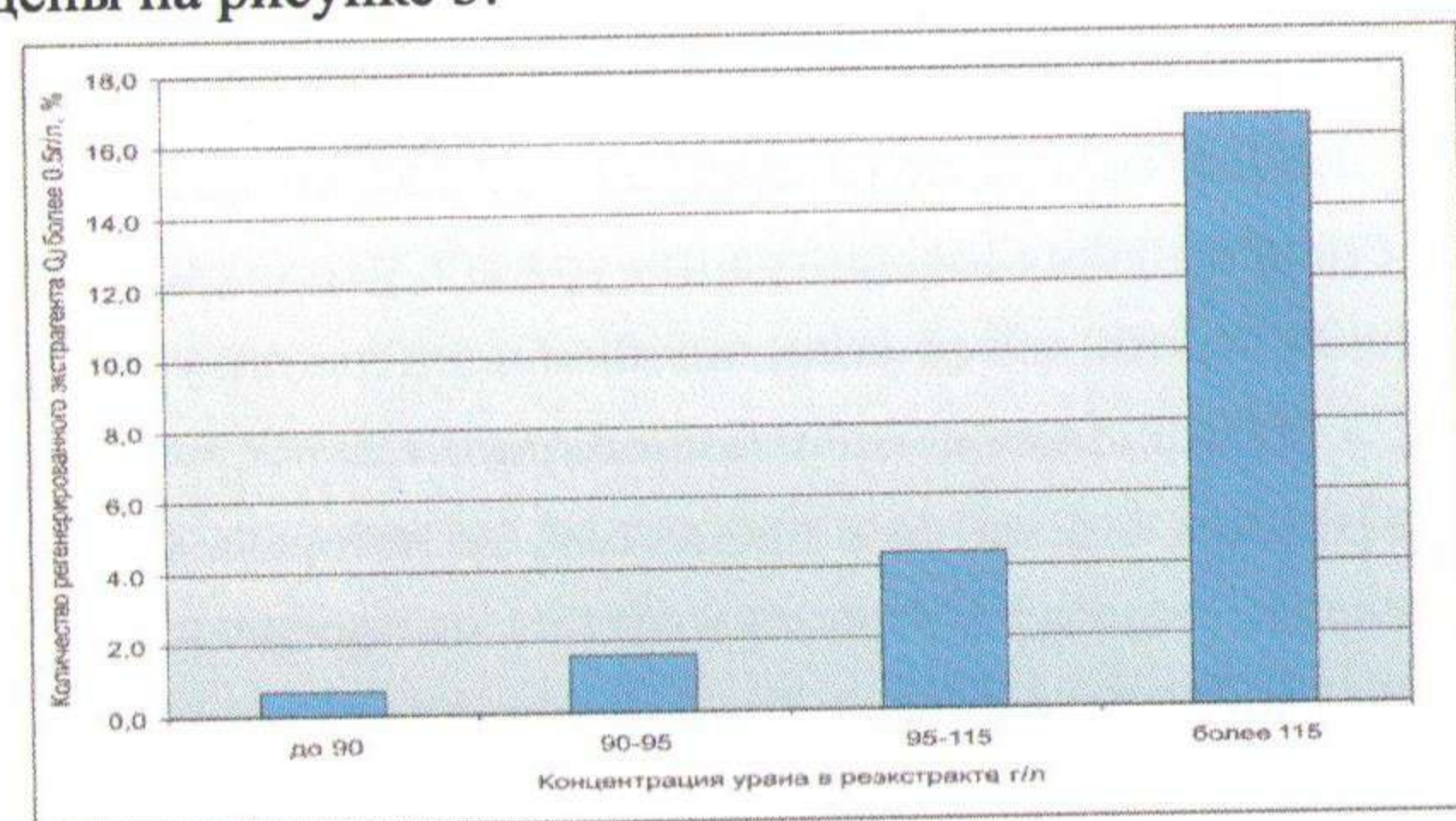


Рисунок 3 - Зависимость количества регенерированного экстрагента с повышенным содержанием урана от концентрации урана в резкстрактах

Графические данные, представленные на гистограмме рисунка 3, показывают, что при увеличении концентрации урана в резкстракте более 115 г/л, процент получения регенерированного экстрагента с содержанием урана более 0,5 г/л резко возрастает и достигает 16,6 %. При ведении процесса с настройкой на резкстракт с концентрацией урана до 115 г/л, количество случаев получения регенерированного экстрагента с содержанием урана более 0,5 г/л не превышает 4,4 %.

Повышенное содержание урана в регенерированном экстрагенте может способствовать получению рафинатов с содержанием урана более 0,04 г/л. Сравнительный анализ состава рафинатов, периода настройки на резкстракт с концентрацией урана до 110 и до 115 г/л, проводили разбив массив данных (июнь-август 2012 г) на следующие интервалы концентраций урана в рафинатах: до 0,025; 0,025-0,035; 0,035-0,04 г/л. Полученное распределение параметра «концентрация урана» в рафинатах представлено на гистограмме, рисунок 4.

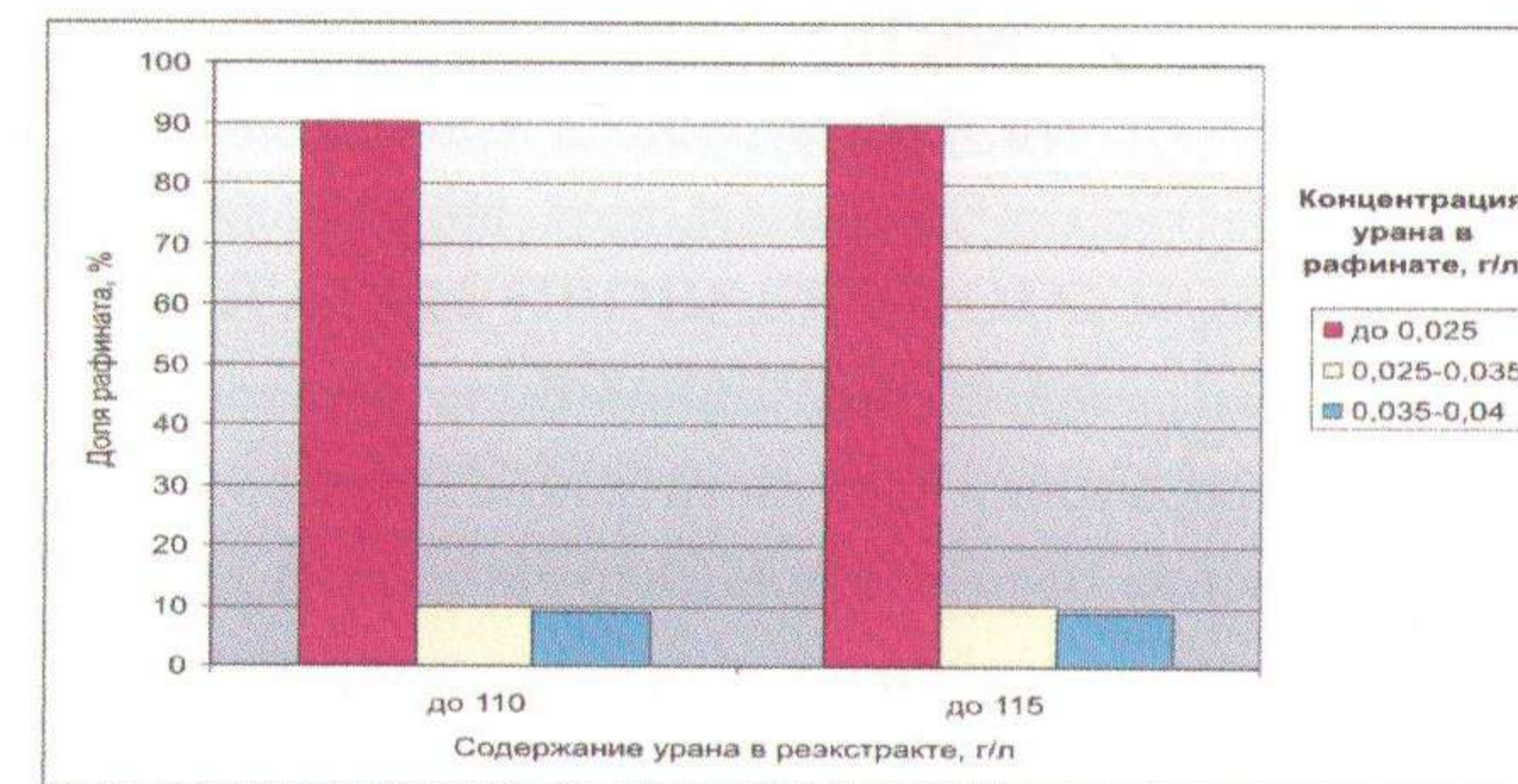


Рисунок 4 - Зависимость концентрации урана в рафинатах от содержания урана в резкстракте

Результаты исследований, приведенные на рисунке 4, свидетельствуют о том, что характер распределения параметра «концентрация урана» в рафинатах в областях концентраций урана в резкстракте до 110 г/л и до 115 г/л практически идентичен. Установленный факт позволяет заключить, что ведение процесса экстракционного аффинажа с получением резкстракта с концентрацией урана до 115 г/л не увеличивает риск получения рафинатов с содержанием урана более 0,04 г/л в сравнении с областью концентраций до 110 г/л.

В ходе промышленных испытаний лабораторный анализ готовой продукции показал, что примесный состав готовой продукции остается на высоком (по чистоте) уровне и удовлетворяет спецификации выпуска закиси-окиси урана для прямого фторирования.

## 2 Расчет снижения затрат на переработку ХКПУ за счет снижения объемов ЖРО и реагентов

Повышение концентрации урана в резкстракте повлекло за собой снижение удельных затрат на реагенты, в частности аммиачную воду, что позволило сократить объемы ЖРО за счет уменьшения объемов резкстракта и аммиачной воды.

После установления максимальной концентрации урана в резкстракте, позволяющей вести процесс экстракционного аффинажа на требуемом уровне качества без приобретения дополнительных единиц оборудования, были рассчитаны новые удельные нормы аммиачной воды и объемы образующихся отвальных растворов, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2. Удельные нормы потребления аммиачной воды и образования отвальных растворов при производстве 1-го килограмма готового продукта.

Наименование удельных норм материалов на производство	Единицы измерения	Удельные нормы	
		До внедрения	После внедрения
Аммиачная вода	кг/кг	1,850	1,836
Отвальные растворы	м <sup>3</sup> /кг	0,018	0,01688

На основании приведенных в таблице 2 данных рассчитывая на годовую производительность, экономия в денежном эквиваленте составит до 1861 тыс.тенге. Необходимо отметить, что оптимизация аппаратного оформления каскадов центробежных экстракторов технологических процессов экстракции и резкстракции не требовала денежных затрат.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение количества ступеней, участвующих в извлечении урана в виде уранилнитрата из азотнокислого раствора в экстрагент, позволило увеличить коэффициент извлечения урана в экстрагент.

В ходе проведения промышленных испытаний было установлено, что при существующем аппаратном оформлении технологических процессов экстракции и реэкстракции возможно увеличение массовой концентрации урана в реэкстракции до 115 г/л без негативных, случайных воздействий на процесс экстракционного аффинажа.

В ходе промышленных испытаний лабораторный анализ готовой продукции показал, что примесный состав готовой продукции остается на высоком (по чистоте) уровне и удовлетворяет требованиям спецификации на выпуск закиси-оксида урана для прямого фторирования.

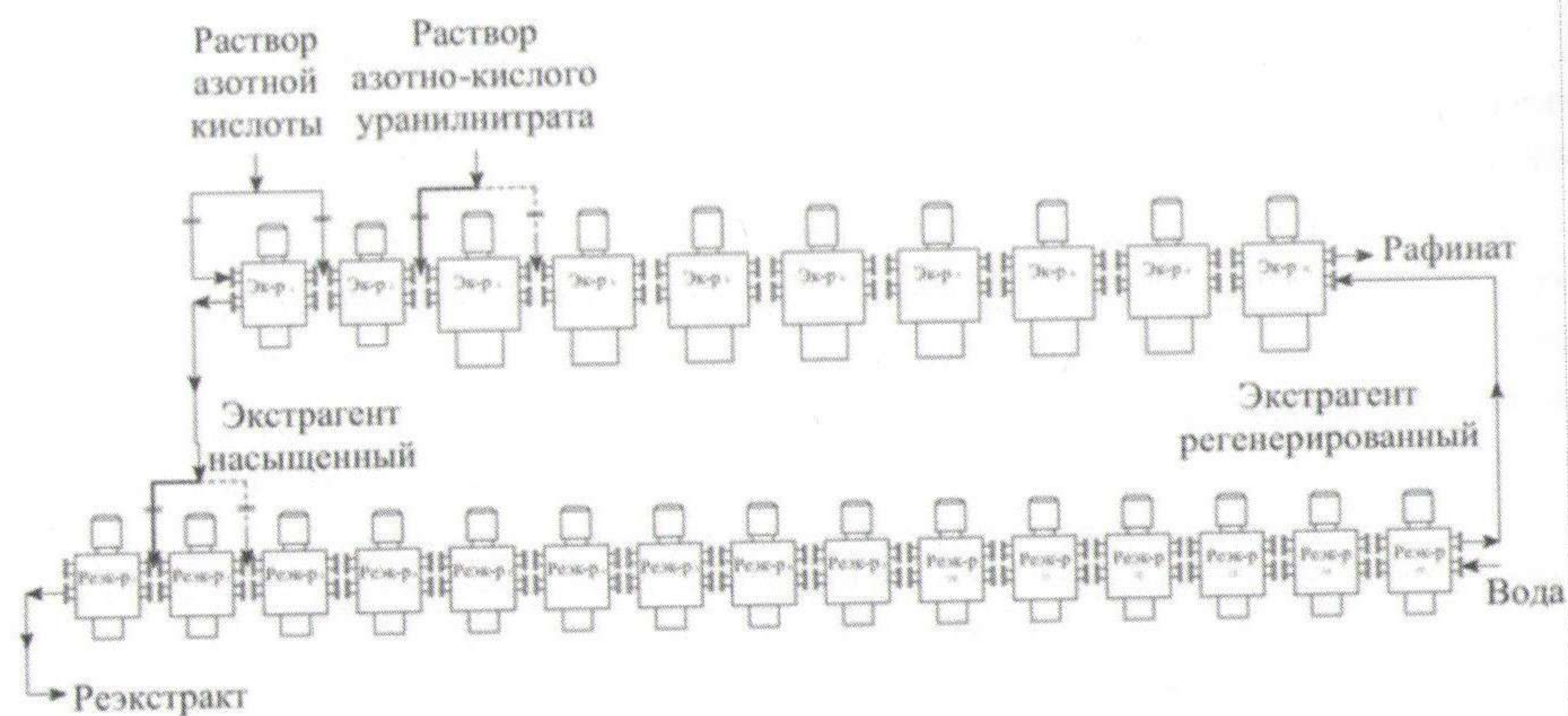
Достигнутые, в ходе проведения промышленных испытаний, результаты позволили снизить удельные нормы потребления аммиачной воды и образования ЖРО.

Ожидаемый экономический эффект от снижения удельных норм аммиачной воды, с учетом годовой программы по выпуску ЗОУ, составит до 1861 тыс. тенге.

Следует так же отметить, что увеличение массовой концентрации урана в реэкстракте позволяет увеличить производительность всей технологической цепочки по переработке ХКПУ на 8-12%.

### Приложение 1

#### Схема обвязки цепи аппаратов процесса экстракции и реэкстракции



--- линии подачи реагентов до изменения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ТЕРРИТОРИЙ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПОЛИГОНУ АЗГИР, КРИТЕРИЯМ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОВЕДЕННОГО КОМПЛЕКСНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

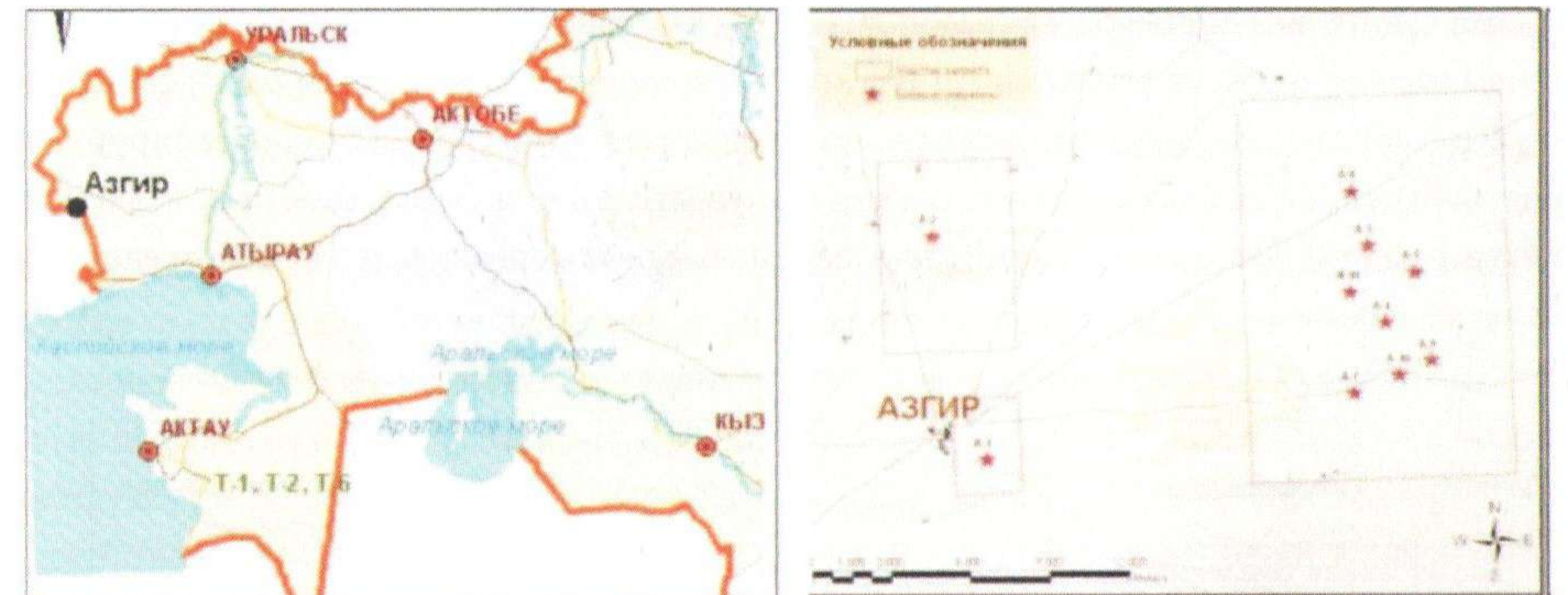
Артемова В.А., Севериненко М.А., Мильц О.С., Николаев И.М.  
Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

### Введение

Проблемы преодоления различных последствий осуществленных в Казахстане ядерных взрывов, в том числе радиоактивных загрязнений как в местах проведения ЯВ, так и в прилегающих районах, 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. были развернуты работы по созданию с помощью камуфлетных ядерных взрывов в массивах каменной соли подземных полостей, с целью их дальнейшего использования в качестве хранилищ большого объема многоцелевого назначения.

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.



а) расположение полигона «Азгир»

б) схема расположения боевых скважин и участков запрета

Рисунок 1 — Полигон «Азгир»

Все взрывы проектировались как полностью камуфлетные, т.е. без выхода радиоактивных продуктов взрыва на поверхность. Однако этого достичь не удалось, о чем свидетельствуют данные продолжительности радиоактивных выбросов из полостей от нескольких дней до нескольких месяцев и об их суммарных активностях до  $10^{17} + 10^{18}$  Бк.



### Критерии оценки экологической обстановки территории

Критерии оценки экологической обстановки территорий - совокупность показателей, характеризующих ухудшение состояния здоровья населения и окружающей среды. Данные критерии разработаны в соответствии со статьями 16 и 175 Экологического кодекса Республики Казахстан от 9 января 2007 года.

Критерии оценки экологической обстановки территорий используются при определении зоны чрезвычайной экологической ситуации или зоны экологического бедствия. Определение зон осуществляется по одному или нескольким основным и дополнительным показателям, отражающим более высокую степень неблагоприятной экологической обстановки.

Зона чрезвычайной экологической ситуации – территории, где в результате хозяйственной и иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в окружающей среде, которые угрожают здоровью населения, состоянию естественных экологических систем, генетических фондов растений и животных.

Зона экологического бедствия – территории, где в результате хозяйственной деятельности либо иной произошли глубокие необратимые изменения окружающей среды и повлекли за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение природоохранного равновесия, разрушение естественных экологических систем, деградацию флоры и фауны.

Основными критериями оценки экологической обстановки территорий, утвержденными постановлением РК №653 от 31 июля 2007 г., являются: медико-демографические показатели для оценки состояния здоровья населения, загрязнение воздуха селитебных территорий, оценка санитарно-эпидемиологической ситуации, связанной с питьевой водой, загрязнение почвы населенных мест, показатели для оценки РБ, критерии изменения природной среды.

Критериями, по которым проводилась оценка экологической обстановки территории полигона «Азгир», являлись показатели радиационной безопасности и качества питьевой воды. Основные показатели и параметры экологической ситуации, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные критерии оценки экологической обстановки территории

Показатель	Экологическое бедствие	Чрезвычайная экологическая ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация
Содержание токсических веществ			В пределах гигиенических нормативов
1 кл. опасн.	> 3	2 – 3	
2 кл. опасн.	> 10	5 – 10	
3,4 кл. опасн.	> 15	10 – 15	
pH	< 4	4 – 6	6 – 9
Общая минерализация (мг/л)	> 5000	5000 – 1000	< 1000
Загрязнение почв рад-ми веществами (мЗв)	> 50	5 – 50	1 – 5
Радиоактивное загрязнение почв (Ки/км <sup>2</sup> )			
Цезий-137	> 40	40 – 15	< 15
Стронций-90	> 3	3 – 1	< 1

### Работы по нормализации радиационной обстановки

Исследование радиационной обстановки в районе Азгирского полигона проводилось Радиевым институтом им. Хлопина (РИ, Санкт-Петербург), затем эту работу продолжал до 1995г. Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ВНИИЭФ, г. Арзамас-16), с 1995 г. - Институт радиационной безопасности (ИРБ) Национального ядерного центра (НЯЦ) РК, а с 1996 г. - Институт ядерной физики (ИЯФ) Национального ядерного центра (НЯЦ) РК.

При передаче полигона Институту ядерной физики от Российской стороны не были получены информационные материалы по параметрам ядерных взрывов, данные характеризующие радиоэкологическую ситуацию в поствзрывной период, радиоэкологические, медицинские и биологические последствия взрывов, были неизвестны значения доз ионизирующих излучений, полученных населением в период проведения взрывов. Радиоэкологическое обследование объектов полигона ИЯФ фактически было начато с нуля.

В период с 1996-2001 годы регулярно проводились научные исследования территории полигона с целью выявления последствий ядерных взрывов. В 1996г. была создана Азгирская научно-производственная радиоэкологическая экспедиция Института ядерной физики НЯЦ РК. С 2001 г. проводится радиационный мониторинг.

В 2001 г. проведены работы по ликвидации наиболее опасных пятен радиоактивного загрязнения общим количеством 200 единиц, наибольшее количество пятен было зафиксировано на площадках А2 и А10. Максимальные значения МЭД на пятнах достигали уровня 8,0 – 9,0 мкЗв/ч. В результате ликвидационных работ наибольшее значение МЭД на площадках было доведено до 0,8 – 0,9 мкЗв/ч.

В 2005 году проведено комплексное радиоэкологическое обследование территорий и населенных пунктов, прилегающих к полигону. Комплексное радиоэкологическое обследование включало в себя организацию и проведение полевых работ, детальную гамма-съемку территории полигона, исследование радиоэкологического состояния населенных пунктов, находящихся в зоне потенциального влияния полигона, лабораторные исследования проб объектов окружающей среды (почвы, растительности, воды, воздуха), включая определение концентраций <sup>239+240</sup>Pu и <sup>90</sup>Sr (с обеспечением количественного определения в почвах на уровне глобальных выпадений и выше), обработку материалов исследований, анализ результатов и определение мероприятий по снижению радиационных рисков, составление карт радиационной обстановки.

Оценка качества окружающей среды в населенных пунктах проводилась по следующим параметрам: уровень загрязненности почв искусственными радионуклидами, уровень содержания искусственных радионуклидов в воздухе, качество поверхностных и питьевых вод по параметрам: микро- и макроэлементный состав, радионуклидный состав (включая тритий).

В 2007 г. проведены мероприятия по ликвидации рецидивно (повторно) возникших на прежних участках радиоактивных загрязнений, зафиксированных и очищенных в 2001 г., новых повторных пятен радиоактивного загрязнения, а так же загрязненного металлолома (рисунок 2).





Рисунок 2 – реабилитационные работы

Утилизировано в двух приповерхностных захоронениях 9150 кг грунта категории МОИ и 1900 кг фрагментов загрязненного металлолома (рисунок 3).



а) бункер

б) гусеница



в) насос

г) платформа

Рисунок 3 – Загрязненный металлолом

С 2009 года по настоящее время проводятся работы по исследованию влияния полигона «Азгир» на экологическое состояние подземных вод.

Техническая база для мониторинга радионуклидного состава подземных вод представлена 10 наблюдательными режимными гидрогеологическими скважинами на тер-

ритории бывшего полигона «Азгир» и 5 колодцами в населенных пунктах (рисунок 4).



а) наблюдательная скважина

б) колодец

Рисунок 4 – Посты мониторинга подземных вод

### Современная радиозэкологическая ситуация полигона «Азгир»

После выполнения реабилитационных мероприятий подтверждено отсутствие радиоактивной загрязненности и фактическая пригодность территории вне технологических площадок для осуществления сельскохозяйственной деятельности.

Результаты измерений содержания радионуклидов в таких объектах окружающей среды как воздух, растительность, почва и питьевая вода показывают, что удельная активность искусственных радионуклидов в указанных объектах не превышают предельно допустимых уровней.

Данные измерений МЭД и удельного содержания радионуклидов в почвенном грунте в окрестностях населенных пунктов, показывают, что радиационный фон не превышает уровня естественного регионального фона зоны опустыненных степей, а радионуклидная загрязненность почвы по цезию-137 меньше значений глобальных выпадений, а по естественным радионуклидам не превышает естественных концентраций.

Не обнаружено наличия техногенных радионуклидов во всех пробах вод водоносных горизонтов на глубинах до 20 м. Отсутствие трития, обладающего чрезвычайно высокой миграционной подвижностью, позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время влияние бывшего полигона «Азгир» на качество источников водопользования, обусловленное миграцией техногенных радионуклидов с подземными водами, отсутствует.

Исследование воды колодцев населенных пунктов показало, что во всех пробах содержание натрия превышает допустимые гигиенические нормативы, в отдельных пробах наблюдается превышение установленных санитарных нормативов по ряду показателей, таких как общая минерализация, содержание хлорид-иона, содержание магния и марганца.

### Оценка экологической обстановки территорий и населенных пунктов, прилегающих к полигону «Азгир»

Оценка экологической ситуации территории и населенных пунктов, прилегающих



к полигону «Азгир» проведена по результатам комплексного обследования в соответствии с «Критериями оценки экологической обстановки территорий», утвержденными Постановлением Правительства Республики Казахстан от 31 июля 2007 года № 653.

Медико-демографические показатели для оценки состояния здоровья населения, применяемые для оценки экологической обстановки территории и загрязнения воздуха селитебных территорий изучены в недостаточном объеме, и при оценке не рассматривались.

Центрального водоснабжения нет. Основными источниками водоснабжения являются колодцы. Оценка санитарно-эпидемиологической опасности загрязнения питьевой воды и источников питьевого водоснабжения химическими веществами:

- Показатели содержания токсических веществ 1, 2, 3, 4 классов указывают на относительно благополучную экологическую обстановку территории.

- По показателю pH исследуемая территория характеризуется как зона с относительно удовлетворительной ситуацией.

- Значения общей минерализации подземных вод находятся в пределах 5000-1000 мг/л, что соответствует территориям с чрезвычайной экологической ситуацией.

Уровень загрязненности территорий и населенных пунктов, прилегающих к полигону «Азгир» искусственными радионуклидами практически не превышает фоновых уровней, что соответствует относительно удовлетворительной ситуации.

Исследуемая территория характеризуется среднегодовыми значениями дополнительной (сверх естественного фона) эффективной дозы не превышающими 1 мЗв.

Состояние других компонентов природной среды не исследовалось.

На основании полученных результатов в соответствии с «Критериями оценки экологической обстановки территорий», утвержденными Постановлением Правительства Республики Казахстан от 31 июля 2007 года № 653 можно сделать заключение:

Территории и населенные пункты, прилегающие к полигону Азгир, относятся к зоне с относительно удовлетворительной экологической ситуацией.

Неблагоприятным экологическим фактором является плохое качество питьевой воды из колодцев населенных пунктов. Интегральные показатели свидетельствуют о непригодности исследованных поверхностных вод и источников водоснабжения для питьевых целей.

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ <sup>99</sup>Tc В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И БЕРЕГОВЫХ ГРУНТАХ БЫВШЕГО СИАП

Эдомская М.А., Желтов Д.А., Бердинова Н.М., Быченко А.Н., Лукашенко С.Н.  
ДГП Институт ядерной физики РГП НЯЦ, г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>99</sup>Tc является долгоживущим ( $T_{1/2}=2,13 \times 10^5$  лет)  $\beta$ -активным ( $E_{\max}=294$  кэВ, 100%) продуктом деления <sup>235</sup>U и <sup>239</sup>Pu (выход 6%), удельная активность которого составляет 630 кБк/мг [1].

Типичная форма нахождения <sup>99</sup>Tc в окружающей среде – в виде пертехнетат-иона TcO<sup>4-</sup>, отличающегося высокой геохимической мобильностью. Основные методы определения <sup>99</sup>Tc в донных отложениях аналогичны методам определения в почве (за исключением дистилляции и поточно-инжекционного метода) и представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Основные методы определения <sup>99</sup>Tc в донных отложениях

Для оценки содержания <sup>99</sup>Tc в донных отложениях и береговых грунтах бывшего СИАП были выбраны кислотное автоклавное разложение, метод статической сорбции с последующим масс-спектрометрическим измерением (рисунок 2).



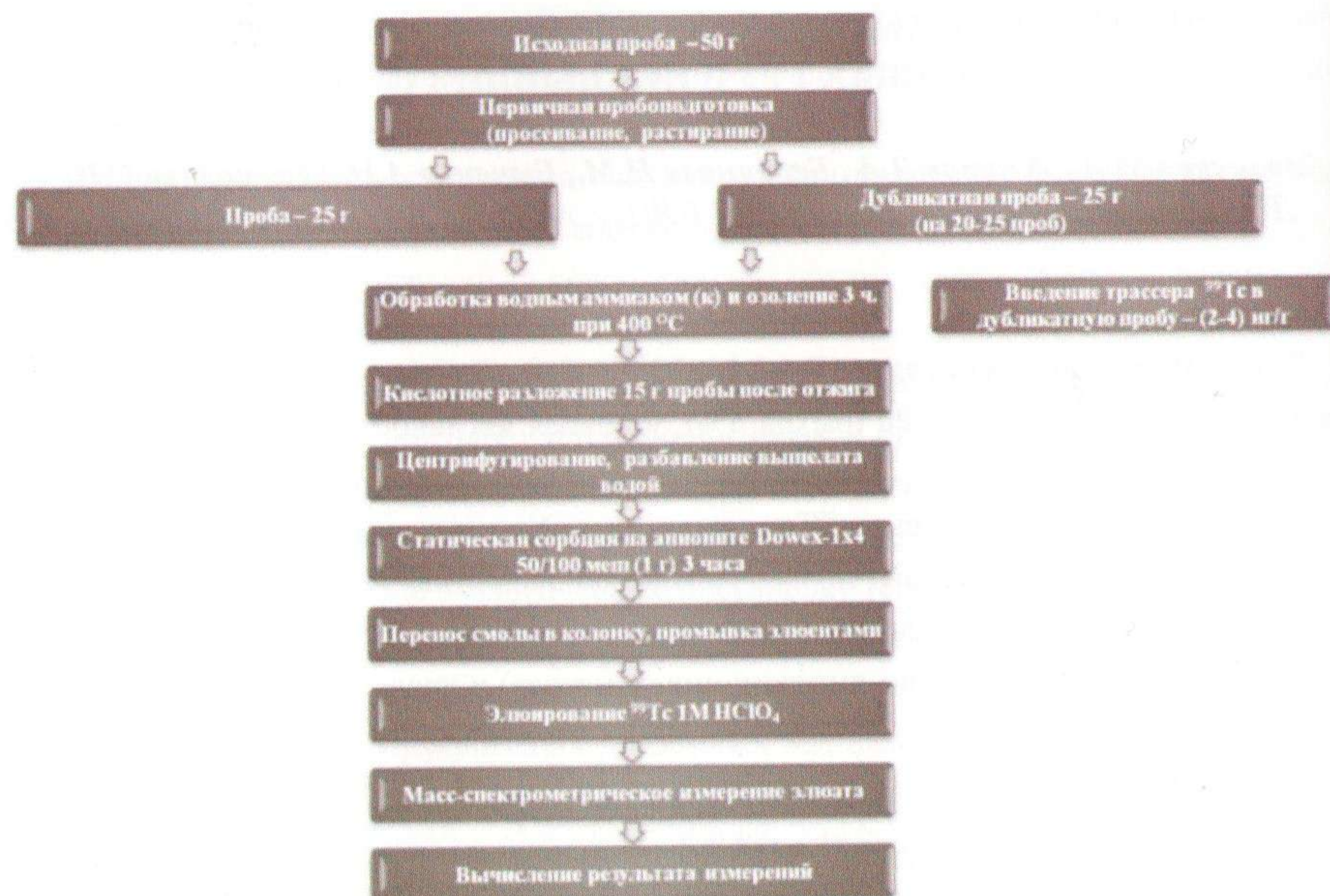


Рисунок 2. Методическая схема для оценки содержания  $^{99}\text{Tc}$  в донных отложениях бывшего СИАП

В качестве трассера для экспериментальной отработки выбранной методической схемы и для градуировки масс-спектрометра использован  $^{99}\text{Tc}$ , полученный экстракционно-ионообменным методом из облученных на реакторе мишеней с  $\text{MoO}_3$ .

Для масс-спектрометрического измерения элюатов масс-спектрометр ELAN-9000 градуировали по трем точкам: 0; 0,166; 4,16 нг/мл  $^{99}\text{Tc}$ . Инструментальные параметры масс-спектрометра ELAN-9000:

- подводимая мощность к плазме: 1300 Вт;
- атомная масса (для  $^{99}\text{Tc}$ ), а.е.м. (Mass (amu)): 98,908;
- тип сканирования (Scan Mode): сканирование (Scanning);
- число точек на пик (MCA Channels): 12;
- время задержки на массе, мс (Dwell Time per AMU (ms)): 500;
- число сканирований на измерение (Sweeps/Reading): 100;
- число реплик (Replicates): 2;
- промывка пробы (Sample Flush): 5 с и 48 rpm;
- задержка перед чтением (Read Delay): 15 с и 26 rpm;
- промывка (Wash): 5 с и 48 rpm.

При масс-спектрометрическом измерении, кроме сигнала с  $m/z=99$ , мониторировались сигналы с  $m/z=95$  (Mo),  $m/z=102$  (Ru),  $m/z=105$  (Pd) и проводилась межэлементная коррекция сигнала с  $m/z=99$  на вклад от  $^{99}\text{Ru}$  по сигналу с  $m/z=102$  (Ru), используя соотношение:

$$^{99}\text{Tc} = \text{mass}99 - [(12,72/31,61) \times (\text{mass}102 - (0,96/22,23) \times \text{mass}105)]$$

Кроме того, проводилась коррекция спектрального наложения полиатомного иона  $^{98}\text{MoH}^+$  на аналитический сигнал с  $m/z=99$  по соотношению:

$$\text{mass}99 - k \times \text{mass}95$$

где  $k$  – коэффициент, получаемый экспериментально путем измерения (вместе с партией анализируемых проб) раствора 1 М хлорной кислоты с содержанием молибдена 1 мг/л, рассчитывают по формуле:

$$k = \frac{I_{\text{mass}99}}{I_{\text{mass}95}}$$

где  $I_{\text{mass}99}$  – интенсивность сигнала с  $m/z=99$ , имп./с;

$I_{\text{mass}95}$  – интенсивность сигнала с  $m/z=95$ , имп./с.

Окончательно в скорректированный сигнал с  $m/z=99$  внесена поправка на холостую пробу.

В таблице 1 представлены результаты анализа содержания  $^{99}\text{Tc}$  в пробах донных отложений, отобранных на приштольневых участках бывшего СИАП и береговых грунтов, отобранных на р. Чаган.

Таблица 1 - Результаты анализа содержания  $^{99}\text{Tc}$  в пробах донных отложений, отобранных на приштольневых участках бывшего СИАП и на р. Чаган

Место отбора	Описание	Дата отбора	Потери при озолении, %	Средний хим. выход $^{99}\text{Tc}$ , %	Содержание $^{99}\text{Tc}$ (на сух. массу)	
					нг/кг	Бк/кг
Дегелен	Приштольневые участки (14 проб)	апрель 2011	≈33,7	65	<15	<13
Дегелен	шт. 165, 15 м от портала	апрель 2011	≈67,3	65	74,6	46,8
р. Чаган	10 проб	09.08.11	≈5,3	35	<40	<26

Средний химический выход  $^{99}\text{Tc}$  рассчитан по результатам анализа 4-х дубликатных проб с добавкой 20,6 нг трассера  $^{99}\text{Tc}$  (выдержка перед анализом – 3 недели).

Полученные результаты анализа содержания  $^{99}\text{Tc}$  свидетельствуют об отсутствии значимого загрязнения  $^{99}\text{Tc}$  донных отложений СИАПа.

Следует отметить, что в пробе ила, отобранной возле штольни 165, отличающейся от остальных максимальным содержанием органического углерода (значение потери массы при озолении приблизительно характеризует содержание органического углерода), зафиксировано значимое содержание нуклида  $^{99}\text{Tc}$ . Наличие  $^{99}\text{Tc}$  в пробе донных



отложений (ила) вполне согласуется с результатами работ [1, 2], авторы которой показали, что сорбция  $^{99}\text{Tc}$  из воды природным илом в течение длительного времени (месяцы) достигает 98 %, причем ее механизм имеет в основном не физико-химическую, а биологическую природу, суть которой – биосульфатредукция и/или метаногенез. Сульфатредуцирующие бактерии восстанавливают сульфаты до сероводорода, который способен реагировать с пертехнетат-ионом  $\text{TcO}_4^-$  с образованием сульфидов технеция (IV), которые накапливаются в иле [2, 3].

[1] Аналитическая химия технеция, прометия, астатина и франция, под ред. В.И. Спицына М.: Наука, 1966, 307 с.

[2] В.Ф. Перетрухин, Т.В. Хижняк и др. Биосорбция технеция-99 и некоторых актинидов донными осадками, взятыми из оз. Белое Косино московского региона. // Радиохимия. – 1996. – т. 38, вып. 5, с. 471.

[3] К.Э. Герман, Е.В. Фирсова, В.Ф. Перетрухин и др. Биоаккумуляция Тс, Рн и Np донными осадками двух типов пресноводных озер московского региона. // Радиохимия. – 2003. – т. 45, N 3, с. 229.

## ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ УРАНА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ВОСТОЧНЫЙ МЫНКУДУК»

Жунисов А.Ш.

ТОО «Степное-РУ», г. Алматы, Казахстан

**Месторождение «Мынкудук» (участок «Восточный»)** Открыто в 1973 г. Сформировано в нижней части верхнемеловых осадков, на глубинах: 220-240 м. Морфология рудных тел: в плане – вытянутые лентообразные формы субширотного простирания, с флексурными изгибами, разгибами; в разрезе – роллы, роллообразные тела и их фрагменты: «мешковые части», «крылья» останцы. Общая протяженность месторождения более 50 км; участка «Восточный» – 17 км. Рудные тела залегают как на нижнем водоуровне, так и приподнимаются над ним на 10-20 м. Верхний водоупор отсутствует. Пьезометрический уровень подземных вод на участке месторождения устанавливается на глубинах 80-85 м от дневной поверхности. Возраст оруденения: неоген четвертичный.

В промышленную отработку вовлечено с 1983 г.

**Гидрогеологическая характеристика.** 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.

**Морфология рудных тел.** Месторождение приурочено к близширотной части системы рудоносных фронтов зоны пластового окисления (ЗПО). В плане рудные залежи представлены протяженными слабоизвилистыми лентами, связанными с границей полного выклинивания ЗПО, с замыканием обособленных языков окисления в инкудукском и мынкудукском горизонтах. В разрезе, ЗПО имеет кулисообразный характер, развиваясь в виде многослойной пластовой зоны. Один из резких «уступов» ЗПО наблюдается в разрезе мынкудукского горизонта, причем в нижнем подгоризонте вследствие его относительно более высокой проницаемости обособляется самостоятельный, выступающий вперед до 0,8-1,0 км язык ЗПО, который контролирует рудные залежи роллового типа. Далее на северо-северо-запад ЗПО развиваются в верхней части мынкудукского и в инкудукском горизонтах, выклиниваясь обычно в средней части последнего. В поперечных разрезах рудные залежи, как правило, состоят из нескольких морфологических элементов: главного роллового тела, приуроченного к выклиниванию ЗПО, и спутных тел, зачастую отторгнутых в процессе развития окисления элементов главного



рудного тела – останцов верхнего или нижнего крыльев или соседнего (по вертикали) ролла. Ролловые тела весьма разнообразны.

**Минералогический состав руд.** 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<sub>2</sub> – 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.

По минеральному составу руды месторождения являются коффинит-настурановыми. В общем балансе настуран составляет 58 %, коффинит – 42 % (на участке «Восточном» – настуран - 50 %, коффинит – 50 %). Роль настурана увеличивается от Восточного участка (1:1) к Западному (5:2). 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<sub>2</sub> – 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 %).

**Анализ работы блоков.** При отработке урана методом ПСВ (подземно-скважинного выщелачивания) основными геотехнологическими параметрами являются величина Ж/Т (отношение жидкого к твердому), степень извлечения (Е-%) и удельный расход реагента.

Величина Ж/Т используется для характеристики не только конечных результатов, но и динамики процесса выщелачивания, как безразмерная координата времени. Процесс подземного выщелачивания урана из руд происходит не равномерно и требует прокачки через пласт раствора реагента в количестве, многократно превышающем поровый объем пород, а отношение Ж/Т характеризует динамику оборачиваемости растворов в

продуктивном горизонте.

Для анализа работы блоков были взяты данные отработанных блоков со степенями извлечения металла Е- 90 % (табл.1).

Таблица - 1. Основные геотехнологические параметры блоков по месторождению «Мынкудук» участок «Восточный»

№ технологического блока	Горнорудная масса ГРМ (тыс. т)	Балансовые запасы (т)	Количество скважин		Извлечено металла из недр		Ж/Т	Расход серной кислоты				Характеристика расположения технологических блоков в рудных телах		
			откач. шт	закач. шт	в нар. т	%		Удельный		ГРМ			ПК	
								зак. кг/т	выщ. кг/т	зак. кг/кг	выщ. кг/кг			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
5-5а	778	69	7	18	62,100	90,00	1,74	3,24	5,66	36,53	70,90	верх. крыло		
2-1ш	2139	461	14	38	414,899	90,00	1,85	3,23	4,37	15,00	22,55	крылья низ, верх		
3-1ш	556	54	8	17	48,600	90,00	1,39	3,24	3,92	33,36	44,87	крылья низ		
12-1	1623	140	12	36	128,795	92,00	1,13	3,33	2,72	38,56	34,31	крылья низ		
12-2	977	71	9	23	63,943	90,06	1,17	3,38	3,38	46,50	51,64	крылья низ		
12-3	1429	145	10	23	130,499	90,00	1,43	3,38	2,00	33,31	21,94	крылья низ		
14-2	1245	184	9	20	165,601	90,00	1,99	3,06	3,38	20,71	25,38	комб меш+крыло		
69-1	990	145	8	19	132,021	91,05	2,69	2,72	10,48	18,54	78,57	подвеш. меш		
25-1	1469	172	13	39	154,800	90,00	1,72	3,38	6,54	28,87	62,10	верх. крыло		
211-1	912	69	10	24	62,100	90,00	0,81	3,38	5,02	44,68	73,78	крылья низ		

Как видно из таблицы-1. Во всех блоках, приведенных на таблице степень извлечения металла равна Е – 90 %. При этом остальные геотехнологические параметры такие как Ж/Т и удельный расход реагента разные. Это говорит о том, что все это зависит от характеристики расположения технологических блоков в рудных телах. По полученным результатам сделаны следующие выводы:

- При отработке блоков локализованных в крыльевых частях руды достигнуты следующие средние значения геотехнологических параметров Ж/Т- до 1,5; удельный расход реагента на ГРМ – до 7,4 кг/т; удельный расход реагента на полезный компонент – до 70 кг/кг;

- при отработке блоков локализованных в мешковых частях руды достигнуты следующие средние значения геотехнологических параметров Ж/Т- 1,5-1,9; удельный расход реагента на ГРМ – 8-10 кг/т; удельный расход реагента на полезный компонент – 70-80 кг/кг.

- при отработке блоков локализованных в мешковых частях руды достигнуты следующие средние значения геотехнологических параметров Ж/Т- 2,0 - 2,5 и более; удельный расход реагента на ГРМ – 10 кг/т и более; удельный расход реагента на полезный компонент – 80 и более кг/кг.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЬФА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ С ХЖРО РУ БН-350

Юндин А.Д.

ТОО «МАЗК - Казатомпром», г. Алматы, Казахстан

## 1. Введение

За последние пять лет альфа-спектрометрия приобрела очень важное значение в науке по измерению ядерных излучений. Количественный и качественный анализ альфа-излучающих радионуклидов играет важную роль для характеристики радиационной обстановки при контроле окружающей среды и для организации радиационной защиты. Так как круг задач промышленности ядерного цикла смещается с производства оружия и ядерного топлива на переработку отходов, вывод АЭС из эксплуатации и их дезактивацию, то значение альфа-спектрометрии будет еще более возрастать.

Все большее число лабораторий оснащается оборудованием для количественного и качественного анализа альфа-излучателей, однако применение этого оборудования сопряжено с рядом потенциальных сложностей, игнорирование которых может приводить к искажению данных и результатов. Так, на этапах химического разделения и осаждения могут возникать ошибки, которые приводят к ухудшению качества источника, подлежащего измерению.

Крайне низкие уровни активности в сочетании с массой альфа-частиц также усложняют задачу. Загрязнение ядрами отдачи может изменить фон после измерения всего лишь одного образца и привести к необходимости постоянной очистки оборудования. Большое количество вариантов измерения (иногда с использованием 100 или более отдельных альфа-спектрометров) порождает огромное количество информации и создает основные проблемы при обработке данных и контроле качества результатов анализа.

## 2. Основы альфа-спектрометрии

Альфа-излучение радиоактивных изотопов характеризуется спонтанным испусканием альфа-частиц (или ядер  ${}^4\text{He}$ ) с характеристическими энергиями, находящимися обычно в интервале от 4 до 6 МэВ.

Альфа-частицы являются тяжелыми заряженными частицами. Так как они относительно большие по массе и медленные, то быстро теряют свою энергию в материалах. Толщины одного листа бумаги или кожи человека достаточно, чтобы задержать их. Любая физическая среда между излучающим альфа-частицы радиоизотопом и активной областью детектора будет поглощать часть энергии альфа-частицы. Ослабление проявляется как в самом образце, так и в любом материале, расположенном между образцом и активным объемом детектора, что является причиной образования у альфа-пика характерного «хвоста», то есть отклонения формы пика от гауссовой кривой. Специалист по альфа-спектрометрии должен предпринять ряд мер, чтобы уменьшить степень размывания пика. Специально для этого

измерение источников осуществляется в вакууме, при этом источники должны быть как можно более тонкими для исключения влияния самопоглощения.

Энергия альфа-частиц большинства изотопов отличается друг от друга не более чем на 10-20 кэВ. Так как разрешение кремниевых детекторов, применяемых в альфа-спектрометрах, довольно близко к этой величине, то такие элементы должны быть химически разделены перед анализом. Химическое разделение предназначено для того, чтобы выделить определенные элементы из образца и минимизировать взаимное мешающее влияние нескольких альфа-излучающих нуклидов. Так как в процессе химического разделения неизбежны потери образца, то для последующего их учета к образцу добавляется известное количество определенного изотопа (изотопной метки). Изотопная метка представляет собой один из изотопов изучаемого элемента, например, для урана это изотоп  ${}^{232}\text{U}$ . Так как все изотопы одного и того же элемента химически ведут себя одинаково, то доля метки, потерянной в химических процессах, равна доле потерянного образца (предполагается, что изотопная метка гомогенно смешана с образцом и находится в нем в состоянии химического равновесия).

Для получения как можно более тонкого источника, с целью уменьшения эффекта самопоглощения, образцы должны быть правильно нанесены на подложку.

Наиболее часто используемыми методиками нанесения образца являются его электролитическое осаждение, либо его осаждение с использованием малых добавок фторидов редкоземельных элементов, например, фторида неодима. Затем источник помещается в вакуумированную камеру, и проводится измерение образца в течение заранее установленного интервала времени. В случае низкого уровня активности получение надежных результатов часто занимает довольно продолжительное время. Обычно это более 50 000 секунд, т.е. более половины суток. Если учесть, что таком продолжительному накоплению данных обычно предшествует несколько дней работы по подготовке образца, то становится ясно, почему исключительно важно правильно выполнить все этапы анализа. Ошибки могут свести на нет результаты большой работы, увеличивая тем самым себестоимость анализа образца и нарушая нормальный ход работ.

После сбора данных специальное программное обеспечение позволяет обработать спектр и получить количественные результаты для определяемых изотопов. Обработка либо заключается в простом поканальном интегрировании импульсов и введении поправки на эффективность регистрации, либо включает расширенную коррекцию фона, поправку на параметры разнообразных химических процессов, обработку перекрывающихся пиков и т.д.

## 3. Описание установки

Установка, на которой выполняется работа, показана на рисунке. Установка состоит из камеры, кремниевого детектора и регистрирующей электронной аппаратуры. В качестве детектора в установке используется полупроводниковый кремниевый детектор. Источник расположен на турели, которая имеет одно фиксированное положение. В режиме измерения крышка камеры должна быть закрыта, чтобы на детектор не по-



падал свет. Электронная регистрирующая аппаратура состоит из зарядочувствительного предусилителя, усилителя. Импульсы с усилителя поступают в аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), который служит интерфейсом ЭВМ.

Зарядочувствительный предусилитель служит для преобразования информации о заряде, образовавшемся в чувствительной области детектора в амплитуду импульса.

Усилитель усиливает и формирует сигналы для улучшения соотношения сигнал - шум.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) служит для измерения амплитуд импульсов, т.е. для перевода аналоговой информации в цифровую. Он генерирует число линейно зависимое от амплитуды входного сигнала. Событие, обработанное АЦП, фиксируется в соответствующей определенному диапазону амплитуд ячейке памяти (канале). Каналы последовательно нумеруются так, что большим амплитудам соответствуют большие номера каналов. По мере набора статистики в памяти ЭВМ формируется распределение номер канала - количество событий, которое после проведения измерений можно наблюдать на мониторе или распечатать.

Источник напряжения смещения детектора служит для создания электрического поля, под воздействием которого собираются заряды, образовавшиеся в детекторе при ионизации, производимой в чувствительном слое регистрируемой частицей.



#### 4. Радиохимические методы

Разработанные методы позволяют определять содержание и состав радионуклидов в окружающей среде и материалах. Основой большинства упомянутых методов определения содержания радиоактивных изотопов являются осаждение, а также экстракция, возгонка и электрохимическое выделение.

В общем виде радиохимические методы выделения отдельных радиоактивных изотопов можно подразделить на электролитические, электромиграционные и хроматографические.

Развитие электролитических методов выделения различных радиоактивных изотопов, находящихся в растворах в следовых количествах, с аналитическими целями и с целями приготовления «тонких» слоев из исследуемых элементов обеспечило выполнение достаточно точных радиометрических измерений. Были разработаны методы электролитического выделения из слабых растворов редкоземельных элементов, урана, нептуния, плутония и трансплутониевых элементов на катоды – подложки из платины, титана, нержавеющей стали.

Хроматографические и электромиграционные методы позволяют разделять даже очень близкие по свойствам элементы, например редкоземельные или актинидные. Так, с использованием ионообменных смол может быть выполнено разделение редкоземельных элементов, выделенных из продуктов деления урана и плутония. Особое место в радиохимическом анализе занимают работы, направленные на комбинирование наиболее выгодных и скоростных приемов радиохимии для экспрессного анализа различных радиоактивных смесей.

С помощью аппаратуры для электромиграционного разделения с пористым наполнителем можно осуществить разделение ряда радиоактивных элементов методом непрерывного электрофореза. При этом разделение редкоземельной группы осколков деления урана осуществляется всего за несколько часов.

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый по чувствительности измерительной аппаратуры, множество радионуклидов определяют по их характерному бета - или альфа-излучению.

Из-за самопоглощения в матрице (например, вода, почва) прямая регистрация бета - и альфа-частиц мало информативна. Кроме того, на фоновых уровнях в объектах окружающей среды некоторые радионуклиды, обладающие гамма - или рентгеновской эмиссией, также не могут быть детектированы. В этих случаях могут применяться радиохимические методы, которые традиционно включают следующие операции:

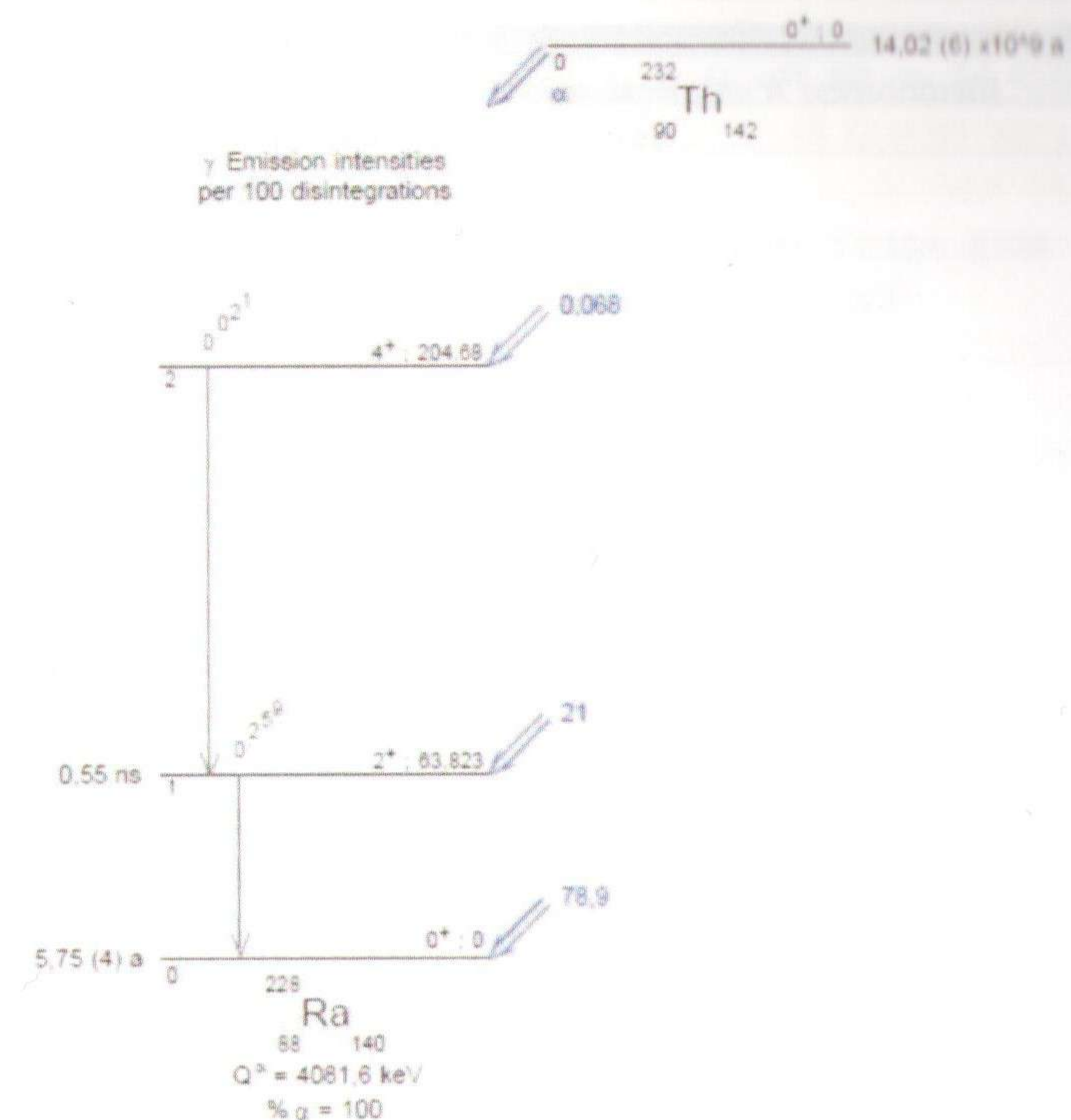
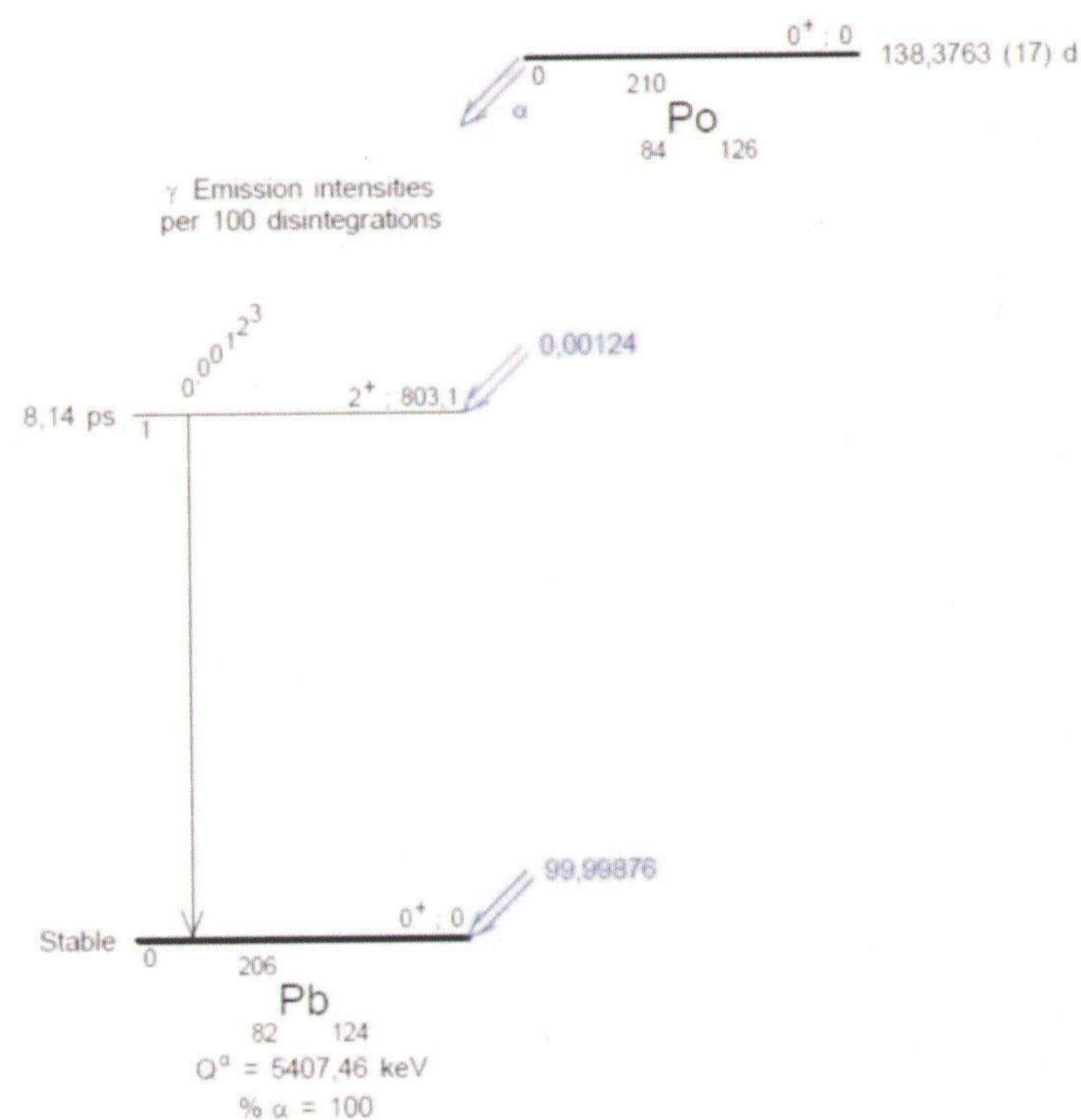
- перевод определяемых компонентов в растворимую форму (для твердых образцов);
- концентрирование и первичная очистка определяемых компонентов, удаление основной части элементов матрицы и мешающих проведению анализа компонентов;
- определение бета, - и альфа-излучателей;
- доочистка препарата;
- приготовление счетного образца.



Для различных типов проб и радионуклидов разработаны многочисленные радиохимические схемы разделения, основанные прежде всего на со-осаждении, ионообменной и экстракционной хроматографии.

### 5. Схемы альфа-распада

По энергии излучений, испускаемых при радиоактивном распаде, можно судить об энергетических уровнях ядер. Поэтому радиоактивные процессы часто изображают в виде схем распада, на которых горизонтальными линиями отмечаются уровни энергии исходного и конечного ядер, а стрелками — характер и направление ядерного перехода. Около стрелок указывается энергия испускаемого излучения в Мэв. Степень неустойчивости ядер характеризуется величиной периода полураспада - промежутка времени, в течение которого распадается половина ядер данного радиоактивного изотопа. На схемах распада указывают символы распадающегося и образующегося изотопов и периоды полураспада радиоактивных ядер. Большинство радиоактивных изотопов имеет сложные схемы распада. В таких случаях на схемах указывают процент данного вида излучения по отношению к общему числу переходов.  $\alpha$ -Распад изображают жирной (или двойной) стрелкой, направленной влево.



Кинетическая энергия  $\alpha$ -частиц при  $\alpha$ -распаде ( $E_\alpha$ ) определяется массами исходного и конечного ядер и  $\alpha$ -частицы.

Эта энергия может несколько уменьшаться, если конечное ядро образуется в возбужденном состоянии и, напротив, несколько увеличиваться, если возбужденным было испускающее  $\alpha$ -частицу ядро (такие  $\alpha$ -частицы с увеличенной энергией называются длиннопробежными). Однако во всех случаях энергия  $\alpha$ -распада продолжает быть однозначно связана с разностью масс и уровнями возбуждения исходного и конечного ядер, а потому спектр

испускаемых  $\alpha$ -частиц всегда является не сплошным, а линейчатым.

Исследования показали, что радиоактивное вещество может испускать  $\alpha$ -частицы с несколькими дискретными значениями энергий. Это объясняется тем, что ядра могут находиться, подобно атомам, в разных возбужденных состояниях. В одном из таких возбужденных состояний может оказаться дочернее ядро при  $\alpha$ -распаде. При последующем переходе этого ядра в основное состояние испускается  $\gamma$ -квант.  $\alpha$ -распад ядер во многих случаях сопровождается  $\gamma$ -излучением.



## 6. Примеры спектров

### Спектр Плутония



## 7. Заключение

Применение альфа-спектрометрии является непростой задачей вследствие самой природы альфа-частиц. Однако, при соответствующем оборудовании, хороших экспериментальных навыках, тщательной подготовке образцов и необходимом внимании к специфическим проблемам можно рассчитывать на успешное осуществление исследований. В этом кратком обзоре не приводятся никаких рецептов, но даны пути возможного решения Ваших проблем.

## СОДЕРЖАНИЕ

### АННОТАЦИОННЫЙ ДОКЛАД

по теме: «Разработка и освоение новых методов и технологий при переработке продуктивных растворов».....3

### ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ РЕАКТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Шаймерденов А.А., Гизатулин Ш.Х. Борисов В.И.....7

### УСТАНОВКА ХЛОРИРОВАНИЯ ОБЛУЧЕННОГО БЕРИЛЛИЯ

Баусадыков М.А., Котов В.М.....13

### УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОРРОЗИИ ГРАФИТА В ПАРАХ ВОДЫ

Муканова А.О., Чихрай Е.В., Шестаков В.П., Бекишев Ж.Ж.....20

### ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИЛОВОЙ РЕЖУЩЕЙ МЕЛЬНИЦЫ «PULVERISETTE 25» ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ «ШАШЕК» В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУ-ЧЕНИЯ ТАБЛЕТОК ПО СУХОЙ СХЕМЕ В АО «УМЗ»

Русин Ю.Г., Шевченко Г.М., Кузьмин К.А., Болтанов А.В.....25

### ПУТИ РАСШИРЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРИРОДНОГО УРАНА ТАУКЕНТСКОГО ГХК ДЛЯ ОТРАБОТКИ ЕГО МЕТОДОМ ПСВ

Есжанова Д.А., Полонский В.А.....30

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Дуйсебаев А., Дуйсебаев Б.А., Жолдыбаев Т.К., Садыков Б.М.....38

### ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА С ЛИТИЕВОЙ КПС В УСЛОВИЯХ РЕАКТОРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Заурбекова Ж.А., Понкратов Ю.В., Гордиенко Ю.Н., Кульсартов Т.В., Тулубаев Е.Ю., Тажиббаева И.Л., Кенжсин Е.А.....46

### ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ОБОСНОВАНИЕ ТРИТИЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Заурбекова Ж.А., Муканова А.О., Тажиббаева И.Л., Кенжсин Е.А., Кульсартов Т.В., Гордиенко Ю.Н., Тулубаев Е.Ю.....51



<b>ИЗМЕНЕНИЕ СПОСОБА ОЧИСТКИ ПЕЧНЫХ ГАЗОВ ОТ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ЗАКИСИ-ОКИСИ ПРИРОДНОГО УРАНА</b> <i>Нуржанов К.Е., Мауленов Д.Е., Жаманов К.....</i>	<b>58</b>
<b>РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА, НА ПРИМЕРЕ ВВР-К</b> <i>Мильц О.С., Севериненко М.А., Глущенко Г.М., Артемова В.А., Николаев И.М.....</i>	<b>60</b>
<b>СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК</b> <i>Муканова А.О., Чихрай Е.В., Шестаков В.П., Абдуллин Х.А., Габдуллин М.Т., Гусейнов Н.Р., Исмаилов Д.В.....</i>	<b>66</b>
<b>ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ ЗАПИСЕЙ ЛЕДНИКОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ</b> <i>Рябенко О.В., Михайлова Н.Н.....</i>	<b>72</b>
<b>ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ОЧАГА КАПЧАГАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1 МАЯ 2011 ГОДА</b> <i>Сейнасинов Н.А., Рябенко П.В.....</i>	<b>79</b>
<b>ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛАТО УСТЮРТ</b> <i>Севериненко М.А., Артемова В.А., Мильц О.С., Левашов М.А., Полешко А.Н.....</i>	<b>87</b>
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ПО СИЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЯМ ДЛЯ ПРОГНОЗА ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ КАЗАХСТАНА</b> <i>Соколов А.Н., Узбеков Р.Б.....</i>	<b>92</b>
<b>СОВРЕМЕННОЕ РАДИАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ УРАНОВОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА «КОШКАРАТА»</b> <i>Гленчинов Д.Е., Шишков И.А.....</i>	<b>98</b>
<b>МЕТОДИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОМ СОПРОВОЖДЕНИИ СООРУЖЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН НА ОБЪЕКТАХ РУДНИКОВ ПВ ШУ-САРЫСУЙСКОЙ ДЕПРЕССИИ</b> <i>Филиал АО «Волковгеология» ГРЭ№7.....</i>	<b>106</b>
<b>МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕЧИ ВГТП-8 НА РУДНИКЕ ТОО «АШПАК»</b> <i>Данилов. А.А.....</i>	<b>114</b>

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ КГО РЕАКТОРА ИВГ.1М ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ</b> <i>Кожсаханов С.Б., Алейников Ю.В., Попов Ю.А.....</i>	<b>118</b>
<b>СВОЙСТВА X(3872) МЕЗОНА В КОВАРИАНТНОЙ КВАРКОВОЙ МОДЕЛИ</b> <i>Динейхан М., Жаугашева С.А., Сайдуллаева Г.Г.....</i>	<b>123</b>
<b>ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИС С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ</b> <i>Кучин Я.И.....</i>	<b>126</b>
<b>«ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ-РЕЭКСТРАКЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗАКИСИ ОКИСИ ПРИРОДНОГО УРАНА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ И ПОТРЕБЛЯЕМЫХ РЕАГЕНТОВ»</b> <i>Гофман А.А., Русин Ю.Г., Ярошенко Н.Н., Крыжановский П.А.....</i>	<b>131</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ТЕРРИТОРИЙ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ПОЛИГОНУ АЗГИР, КРИТЕРИЯМ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОВЕДЕННОГО КОМПЛЕКСНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ)</b> <i>Артемова В.А., Севериненко М.А., Мильц О.С., Николаев И.М.....</i>	<b>137</b>
<b>ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ <sup>99</sup>Tc В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И БЕРЕГОВЫХ ГРУНТАХ БЫВШЕГО СЯЯП</b> <i>Эдомская М.А., Желтов Д.А., Бердинова Н.М., Быченко А.Н., Лукашенко С.Н.....</i>	<b>143</b>
<b>ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ УРАНА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ВОСТОЧНЫЙ МЫНКУДУК»</b> <i>Жунисов А.Ш.....</i>	<b>147</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЬФА-ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ С ХЖРО РУ БН-350</b> <i>Юндин А.Д.....</i>	<b>150</b>



Формат 148 × 210 мм  
Гарнитура Times New Roman, кегль 9  
Усл. 28,5 печ.л. Тираж 300. Заказ №

Верстка: Спиридоновой Е.И.

Отпечатано в типографии:  
ТОО «Сармат-Принт», г. Алматы, ул. Масанчи, 23, литер 3,  
тел.: +7 727 279 6418



