



ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ Республики Казахстан

Выпуск 10



Ядерный потенциал Республик Казахстан

Астана
2013

**О СИЛЬНОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 28.01.2013 г. НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ
(ПО СТАНЦИЯМ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА)**

Рябенко П.В., Узбеков Р.Б.

РГП «Институт геофизических исследований» КАЭ РК, Курчатов

ББК 31.4я 43
Я34

Я34 Ядерный потенциал Республики Казахстан: Сборник докладов, выпуск 10, 2013 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». — Астана, 2013, 164 стр.

ISBN 9965-32-597-9

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

Цели и задачи:

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

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

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

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

ББК 31.4я 43

ISBN 9965-32-597-9

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен вопрос параметризации основного толчка землетрясения, на Северном Тянь-Шане 28 января 2013 г. с магнитудой $m_b=6.6$. Изучены пространственное положение очага, геолого-тектонические особенности района, механизм и СМТ, закономерности афтершоковой деятельности, проведено сравнение параметров основного толчка, полученных различными сейсмологическими центрами. Для афтершоковой последовательности была проведена перелокализация гипоцентров с использованием метода двойных разностей. По результатам расчета изучена закономерность пространственного распределения афтершоков.

ВВЕДЕНИЕ

Самым сильным землетрясением 2013 г. на территории Казахстана было, землетрясение в Алматинской области 28 января 2013 года в 22 часа 38 минут по времени Астаны (28 января в 16 часов 38 минут по Гринвичу). Интенсивность сотрясений в г. Алматы составила 4-5 баллов. Эпицентр землетрясения находился в 230 км к востоку от г. Алматы близ населенного пункта Нарынкол. После землетрясения 28 января в течение суток регистрировались повторные ощутимые толчки. На веб-сайте Центра данных РГП ИГИ www.kndc.kz в круглосуточном режиме оперативно представлялись сведения о регистрируемых толчках.

По данным агентства «Синьхуа» в результате этого землетрясения 28.01.2013, на северо-западе КНР в приграничном Синьцзян-Уйгурском автономном районе имеются пострадавшие и разрушения. Наиболее значительные разрушения отмечены в Или-Казахской автономной области и округе Аксу СУАР КНР: повреждены 5 681 жилых домов, пострадали 20 421 человек, полностью разрушены 216 квартир в 78 жилых домах. В уезде Чжаосу, согласно данным властей Синьцзяна, повреждены 4 062 жилых дома, пострадало 14 217 человек, эвакуировано 379 человек из 93 жилых зданий.

Характеристика основных параметров очага землетрясения

Сведения об основных параметрах землетрясения по разным источникам приведены в таблице 1.

Таблица 1. Инструментальные характеристики землетрясения 28.01.2013 г. по данным разных международных центров

Источник	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	t_0 , ч:м:с	m_b	M_w	H, км	Станции ИГИ РК, участвующие в решении
EMSC (Франция)	42.63	79.81	16:38:53		6.1	10	ААК, PDG, ТКМ, МАКZ, АВКАR, MNAS, ККАR, ОТУК, КУRК, ВВАR, МКAR

REB (СТВТО)	42.55	79.71	16:38:55	5.4	12	AAK, PDG, TKM, MAKZ, ABKAR, MNAS, K KAR, OTUK, KURK, BVAR, MKAR
ГС РАН (Россия)	42.66	79.74	16:38:51	6.1	10	AAK, PDG, TKM, MAKZ, ABKAR, MNAS, K KAR, OTUK, KURK, BVAR, MKAR
NEIC (США)	42.60	79.70	16:38:53	6.1	15	AAK, PDG, TKM, MAKZ, ABKAR, MNAS, K KAR, OTUK, KURK, BVAR, MKAR
КНЦД + СОМЭ (РК)	42.52	79.67	16:38:52	6.6	10	AAK, PDG, TKM, MAKZ, ABKAR, MNAS, K KAR, OTUK, KURK, BVAR, MKAR

Виден важный вклад данных станций ИГИ РК в определении параметров землетрясения всех мировых Центров. На рисунке 1 показано положение эпицентра в плане по всем имеющимся данным. Из рисунка и табличных данных видно, что различие в положении гипоцентра по разным источникам не значительно: оно не превышает $0,11^{\circ}$ и $0,13^{\circ}$ по широте и долготе соответственно и 5 км по глубине. Вариации в значениях магнитуды m_b составляют 1,2.

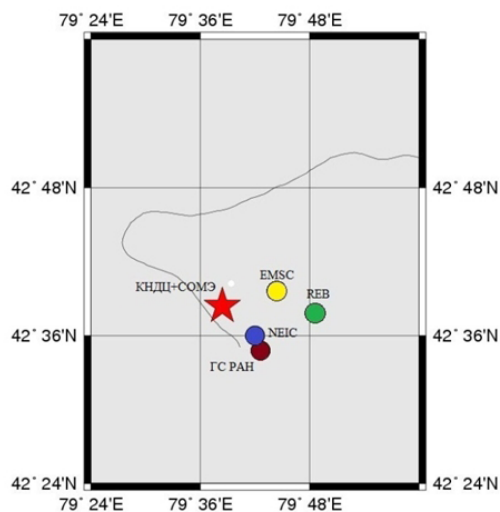


Рисунок 1. Карта эпицентров землетрясения по данным сети РК и международных центров

На рисунке 2 приведено положение эпицентра рассматриваемого землетрясения по инструментальным данным сетей Казахстана на карте тектонических разломов, уточненных Великановым А.Е. по данным дешифрирования космоснимков. Исследуемый район землетрясения характеризуется сложной тектонической обстановкой. Здесь преобладают региональные тектонические разломы северо-восточного простирания, ограничивающие горные цепи Северного Тянь-Шаня. Наблюдаются также тектонические разломы северо-западного и субмеридионального направле-

ния. Как видно из рисунка 2, очаг землетрясения расположен в восточном крыле регионального Капчагай-Чиликского сдвига, простирающегося в северо-западном направлении (300° - 305°) от хребтов Кокшаал-Тау в платформенные зоны. Гипоцентр находится на глубине 10-15 км, южнее Баянкольского разлома северо-восточного простирания, здесь выходят на поверхность породы палеозойского фундамента. По данным сейсмического районирования Казахстана, в этой зоне Тянь-Шаня возможны землетрясения с максимальной магнитудой $M \leq 7,5$ [3].

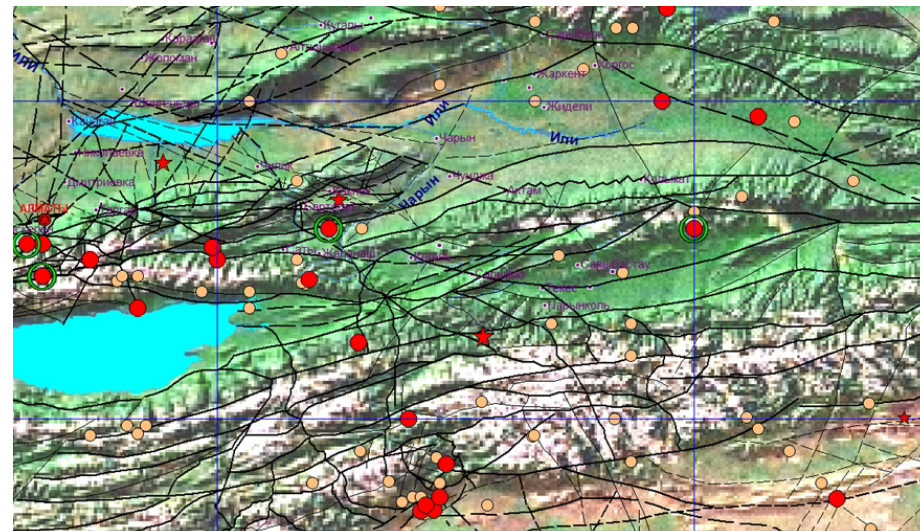


Рисунок 2. Схема расположения эпицентров землетрясений в Северном Тянь-Шане за весь исторический период

- – катастрофические землетрясения с магнитудой $M_s \geq 7$;
- – землетрясения с магнитудой $M_s \geq 6$;
- – землетрясения с магнитудой $M_s \geq 5$;
- ★ – эпицентры землетрясений последних лет

Проведенный анализ имеющихся каталогов землетрясений показывает, что с исторических времен до настоящего времени в радиусе около 1° от эпицентра не было зарегистрировано ни одного сейсмического события с $M \geq 6$, а очаги с $M \geq 5$ находятся на расстоянии около $0,5^{\circ}$, (рисунок 2).

Фокальный механизм главного толчка получен двумя методами: по методу тензора центра сейсмического момента (СМТ) в Центре Геофизических исследований (GFZ) ФРГ и по первым знакам вступлений Р-волн, зарегистрированных сейсмическими сетями РК (ИГИ и СОМЭ), KNET, CAREMON, международных сетей IRIS, полученный Полешко Н.Н. О надежности решения фокального механизма по первым вступлениям объемных волн свидетельствует использование 43 равномерно распределенных знаков, согласованность которых составила 100%, а вариации определяемых параметров не превышали $1-2^{\circ}$. Стереогаммы фокального механизма, полученного по данным двух методов, приведены на рисунке 3.

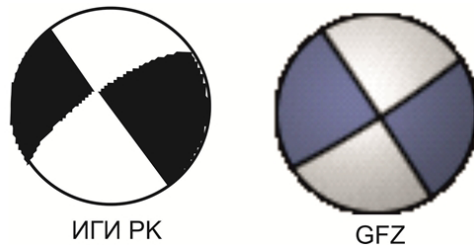


Рисунок 3. Решение механизма очага по данным ИГИ РК и GFZ

Видно, что решения по двум методам хорошо согласуются между собой, максимальная разница в значениях параметров не превышает 5° . Поскольку решения по первым вступлениям объемных сейсмических волн характеризуют первое движение по разрыву, а решение СМТ относится к главной фазе разрыва, то согласованность этих двух решений свидетельствует о том, что разрыв в очаге землетрясения был простым скольжением по плоскости под действием двойной пары сил [4]. По данным механизма очага следует, что в очаге землетрясения произошел горизонтальный сдвиг по близвертикальной плоскости. Одна из возможных плоскостей разрыва имеет северо-восточное направление, она хорошо согласуется с ориентацией Боянкольского разлома. Другая возможная плоскость разрыва простирается в северо-западном направлении, субпараллельном Капчагай-Чиликскому сдвигу. Оси главных напряжений сжатия и растяжения, снимаемых в очаге, близгоризонтальны, ось напряжения сжатия ориентирована субмеридионально, ось напряжения растяжения – субширотно. Такая ориентация напряжений соответствует системе напряжений, действующих в данном регионе [5].

Решение фокального механизма дает два варианта ориентации разрыва, чтобы выбрать наиболее вероятную плоскость разрыва необходимо привлекать другие независимые данные. Анализ имеющейся сети тектонических разломов показывает, что обе нодальные плоскости в решении механизма, а также характер подвижки по ним, находят ясное структурное объяснение и соответствуют крутым сдвигам, субпараллельным либо северо-западной ориентации Капчагай-Чиликского сдвига, либо северо-восточному простиранию Боянкольского разлома. Поэтому использование сведений о тектонике района не позволяет установить истинную плоскость разрыва.

Исследование афтершоковой последовательности

Другим способом выявить наиболее вероятную действующую плоскость является изучение пространственного положения облака афтершоков, которое может дать представление об объемной модели очага в земной коре [6]. Афтершоковая активизация после главного толчка проявлялась в очень компактной области с радиусом 12 км (рисунок 4). Из положения афтершоков в плане видно равномерное распределение их эпицентров в восточном и западном направлениях от главного толчка, и некоторая вытянутость в северном направлении. Все облако афтершоков расположено в тектоническом блоке ограниченном двумя субпараллельными разломами северо-западного простиранения и двумя разломами северо-западного простиранения.

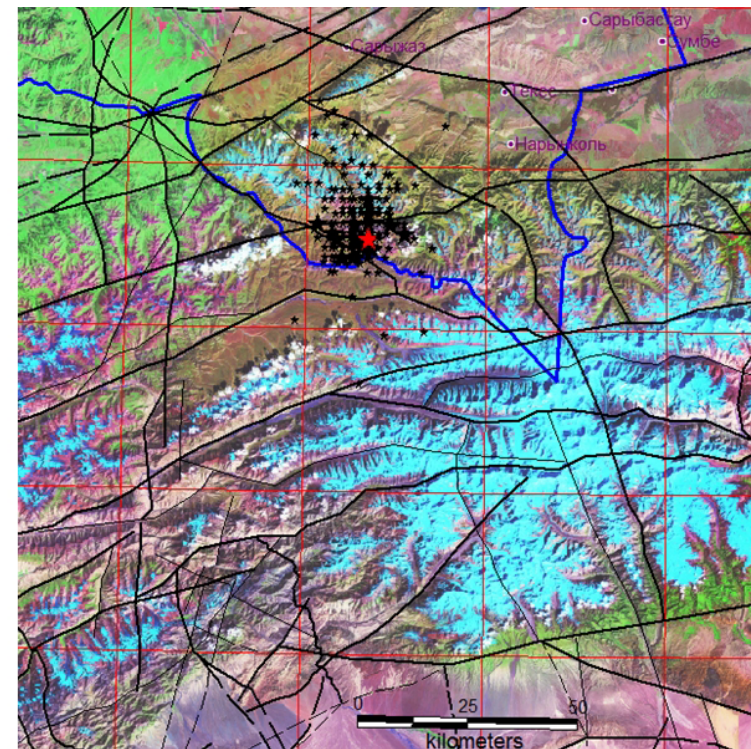


Рисунок 4. Эпицентры главного толчка землетрясения и его афтершоков и тектонические разломы Северного Тянь-Шаня на основе космоснимка

Всего в течении месяца после главного толчка в каталог и сейсмологические бюллетени включено более 900 афтершоков этого землетрясения, большая часть из которых была зарегистрирована в первые 3 дня. Распределение афтершоков по

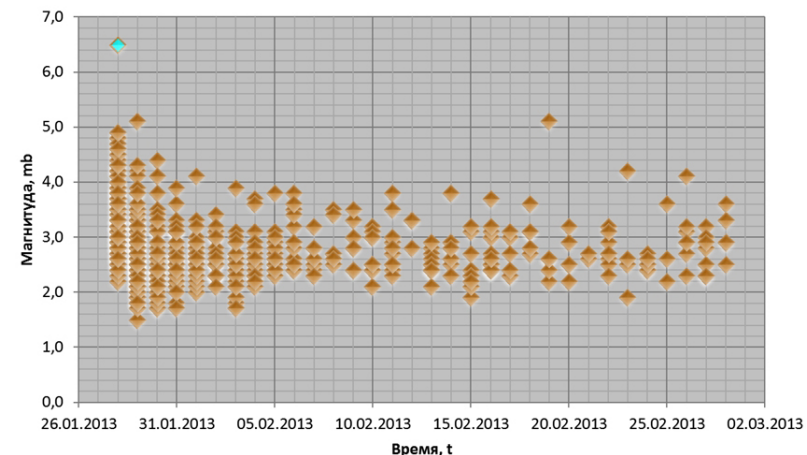


Рисунок 5. Затухание афтершоковой деятельности в очаге землетрясения

энергиям и во времени характеризует рисунок 5: большинство наиболее сильных толчков с $M \geq 4$, в том числе с $M=5$, произошли в первые 2 дня. Через 20 дней, 19 февраля, был зарегистрирован еще один афтершок с $M=5$, положение эпицентра которого практически совпало с положением главного толчка.

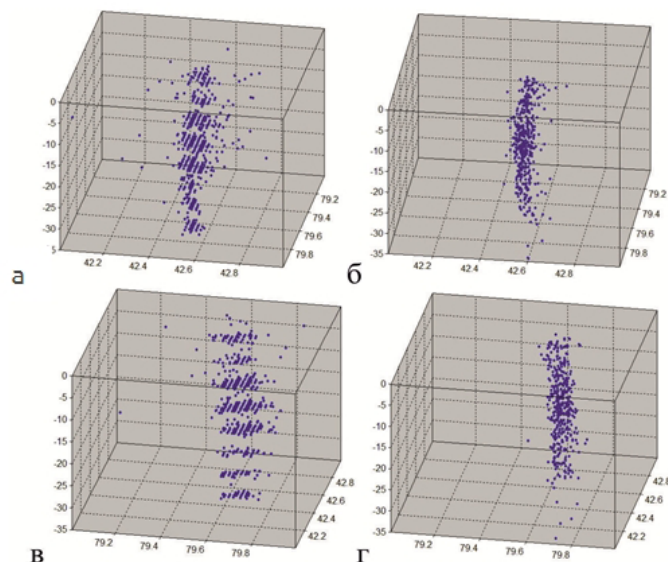


Рисунок 6. Трехмерная модель очага землетрясения по данным СОМЭ (а, в) и по уточненным данным (б, г)

Для того, чтобы получить более точное положение афтершоков в пространстве был применен метод двойных разностей, реализованный в программе hypoDD [1,2], позволяющий минимизировать ошибки определения гипоцентров афтершоковой последовательности. По уточненным данным с использованием программы “zmap (matlab)” построена трехмерная модель очага (рисунок 6), которая позволяет изучить закономерность пространственного распределения афтершоков. Из рисунка видно, что положение гипоцентров по долготе и широте после перелокализации стало более компактным, однако в целом не изменилось. Вся афтершоковая активизация происходила в компактном объеме геологической среды практически изометричной формы, со всех сторон ограниченном разломами. Линейные размеры основного облака афтершоков в плане составляют 10 км x 15 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очаг землетрясения 28.01.2013 г. реализовался под действием регионального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении и субширотного растяжения. Гипоцентры главного и повторных толчков располагались в тектоническом блоке, ограниченном со всех сторон разломами, ориентированными в северо-западном и северо-восточном направлениях. Геометрические размеры очаговой зоны ограничены размерами блока и соответствуют средним размерам очагов землетрясений с магнитудой $M=6$.

Одна из возможных плоскостей разрыва согласуется с ориентацией и кинематикой Капчагай-Чиликского трансрегионального сдвига, другая с Боянкольским разломом.

Принимая во внимание наиболее значительные разрушения в Или-Казахской автономной области и округе Аксу СУАР КНР, можно предположить, что в очаге землетрясения произошел горизонтальный сдвиг по плоскости субпараллельной Боянкольскому разлому северо-западного простирания. На всем протяжении разрыва сохранялась ориентация смещений, зафиксированная в начальной стадии.

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. Am.*, 90. 2000. p.1353-1368.
2. *Рябенко, П.В.* Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 года по данным региональной сети сейсмических станций./ П. В. Рябенко, Н.А. Сейнасинов, Н.Н. Михайлова // *Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии. Доклады международной конференции молодых ученых и специалистов. 6-8 июня 2012 г. Алматы. 2012.- с.149-159*
3. *Сейсмическое районирование Республики Казахстан.* Алматы, изд-во Эверо, 2000. 219 с.
4. *Михайлова, Н.Н.* Сопоставление региональных определений механизмов очагов землетрясений Центральной Азии с решениями тензора момента центроида по данным глобальных сейсмических сетей/ Н.Н Михайлова, Н.Н Полешко. // *Вестник НЯЦ РК.* – 2007. – Вып.2. – с.96-103.
5. *Полешко, Н.Н.* Механизмы очагов землетрясений и сейсмотектоническое деформация земной коры Северного Тянь-Шаня и Жонгарии. Автореферат дисс. канд. геол.-мин.наук. Алматы, 2009. 21 с.
6. *Михайлова, Н.Н.* Текелийское землетрясение в Казахстане в 2009: очаг и воздействие / Н.Н Михайлова, Н.Н Полешко. // *Вопросы инженерной сейсмологии.* ISSN 0132-2826. 2010. Т.37. №2. с.20-33.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАПИСИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ СТАНЦИЯМИ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ИГИ

Рябенко О.В. Соколов А.Н.

РГП ИГИ КАЗ МИНТ РК, Алматы

Записи станций сильных движений являются базовыми при оценке сейсмической опасности, проведении работ по сейсмическому микрорайонированию и при проектировании сейсмостойких сооружений. Особенно важно изучение таких данных для Алматинской области, так как это самый густонаселенный район Казахстана, расположенный в сейсмически активном районе Тянь-Шаня, где в историческом прошлом происходили разрушительные землетрясения с интенсивностью сотрясений 9-10 баллов. Целью настоящей работы является анализ данных сильных движений на территории Алматинской области, зарегистрированных станциями РГП ИГИ начиная с 2006 года, когда начался непрерывный мониторинг ощутимых на территории Казахстана землетрясений.

В настоящее время сеть станций РГП ИГИ, регистрирующих сильные движения, состоит из 7 станций, расположенных на юге (ККАР), юго-востоке (KNDC, PDGK), востоке (МАКЗ, КУРК), севере (БРВК) и в центральной части Казахстана (ОТУК). Кроме того для анализа используются записи станций Суфи-Курган (SFK) и Манас (MNAS), расположенных в Кыргызстане [1]. Обработка данных сильных движений производится при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т. Кашимой [1], которое позволяет проводить визуализацию записи, откалиброванной за характеристики прибора в физических единицах, расчет спектра Фурье и спектра реакции для разных значений затухания, дифференцирование и интегрирование записей.

Для оценки режима сейсмичности Алматинской области была сделана выборка по каталогу землетрясений за период 2006 – 2013 (по июнь) г. Область выборки 42 - 47.3 с.ш.; 73.3 - 82.7 в.д. Район для анализа был выбран больше, чем Алматинская область, так как сильные землетрясения из приграничных районов должны также учитываться при анализе сейсмической опасности. Площадь выборки составила почти 450 000 км².

Распределение землетрясений по энергетическим классам (K_p) для Алматинской области выглядит следующим образом (таблица 1):

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам в Алматинской области за 2006-2013 гг.

K_p	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	N_{Σ}
N	16 753	5 717	1 422	429	146	43	15	4	4	1	24 534

Сейсмическая активность A_{10} в данном районе составила: $A_{10} = 0.064$. Угол наклона графика повторяемости $|\gamma|$ равен 0.44. Максимальные магнитуда и K_p составили $M_{\max} = 6.5$, $K_{\max} = 14.7$ для землетрясения 28 января 2013 г. На рисунке 1 представлен график повторяемости землетрясений, представляющий собой распределение числа землетрясений по энергетическим классам для исследуемого района. Уравнение линейной регрессии :

$$N = 3.628 - 0.475 * K,$$

где

$$\text{коэффициент корреляции } R = - 0.998$$

На рисунке 2 представлена карта расположения эпицентров событий с энергетическим классом более 11.5 за период времени 2006 - 2013 гг.

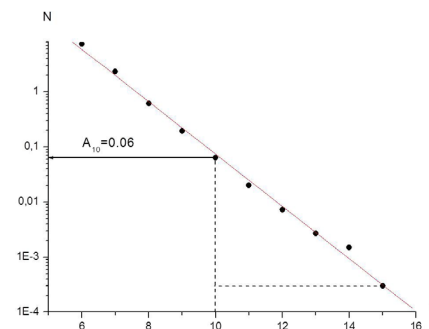


Рисунок 1. График повторяемости землетрясений для исследуемого района

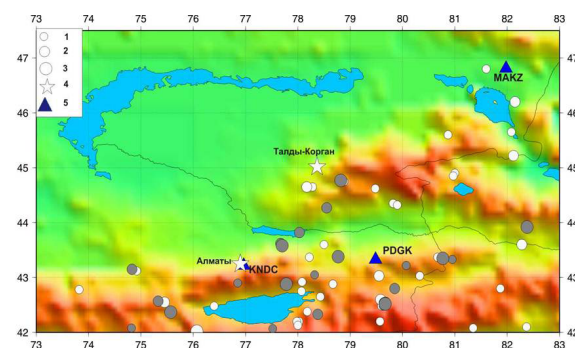


Рисунок 2. Карта расположения эпицентров событий за период времени 2006-2013

- 1) землетрясения с $11.6 \leq K_p \leq 12.5$;
- 2) $12.6 \leq K_p \leq 13.5$;
- 3) $K_p \geq 13.6$;
- 4) города.

* Серым цветом выделены эпицентры землетрясений, которые зарегистрированы станциями сильных движений.

Всего с энергетическим классом более 11.5 - 67 событий, зарегистрированных сетью сильных движений РГП ИГИ - 29 событий. Общий диапазон энергетических классов событий имеющих записи сильных движений, составил от 6.1 до 14.7.

Самое большое значение ускорений, начиная с 1993 г. было зарегистрировано для землетрясения 29 декабря 2007 г. на территории города Алматы. Максимальное значение PGA для станции KNDC наблюдалось на канале север-юг и составило 33.9 см/с², длительность записи сильных движений после максимума составило 4 с. В таблице 2 представлены спектральные параметры движений грунта при землетрясении 29 декабря 2007 г., зарегистрированного станцией сильных движений KNDC на территории г. Алматы.

Таблица 2. Спектральные параметры движений грунта при землетрясении 29 декабря 2007 г.

№	дата	время в очаге	Станция	Δ , км	I, баллы, в рег. пункте	Амплитуды ускорений, см/с ²			Амплитуды скоростей, см/с			Период ускор., с	Период скор., с
						E - W	N - S	Z	E - W	N - S	Z		
1	29.01.2007	21-27-22.0	KNDC	36	4	32.1	33.9	17.0	0.85	1.82	0.69	0.33	0.33

Начиная с 2009 года в Алматинской области произошло несколько ощутимых землетрясений. Макросейсмические исследования и анализ данных сильных движений для этих событий представляют большой интерес для исследователей. Самые сильные из них Текелийское землетрясение 13.06.2009 г. [2], Капчагайское землетрясение 1.05.2011 г. [3], Торайгырское землетрясение 31.05.2012 [4] и Сарыджазское 28.01.2013 [5].

ТЕКЕЛИЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

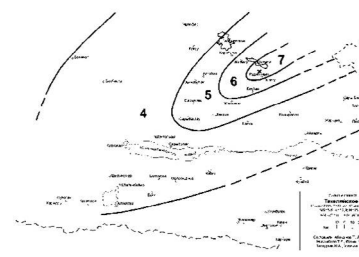
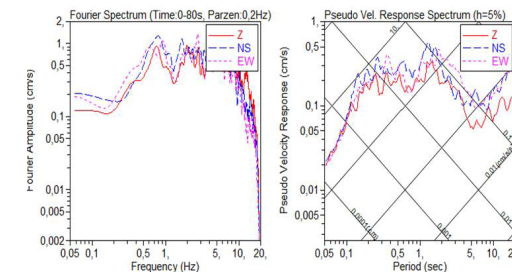
13 июня 2009 г. в 23 ч 17 мин по местному времени (в 17 ч 17 мин по UTC) в юго-восточном Казахстане произошло сильное землетрясение. Наиболее сильно пострадал г. Текели, оказавшийся непосредственно в эпицентральной зоне землетрясения. Интенсивность сотрясений в этом городе достигла 7 баллов [2]. Координаты землетрясения $\varphi=44.77^\circ$, $\lambda=78.82^\circ$, магнитуда $m_b=5.8$, $M_s=5.1$, $M_w=5.4$, $m_{rv}=6.3$, $K=13.8$.

С наибольшей интенсивностью 7 баллов землетрясение проявилось в городах Текели. Город Текели расположен в 8 км от инструментального эпицентра. Жертв и пострадавших от землетрясения не было. По заключению специально созданной комиссии, ущерб от землетрясения составил примерно 2.7 миллиона долларов США [2]. На рисунке 3 представлена карта изосейст Текелийского землетрясения, составленная в ИС РК [2].

Текелийское землетрясение было зарегистрировано станцией KNDC на территории г. Алматы на расстоянии 230 км от эпицентра. В пункте регистрации землетрясение ощущалось с интенсивностью 3-4 балла. На рис. 4 показаны спектры реакции, максимальные значения амплитуд составляют 2.6 см/с². Максимальные значения амплитуд колебательной скорости составили 0.17 см/с (таблица 3).

Таблица 3. Параметры сильных движений при Текелийском землетрясении по станции KNDC на территории г. Алматы

№	дата	время в очаге	Станция	Δ , км	I, баллы, в рег. пункте	Амплитуды ускорений, см/с ²			Амплитуды скоростей, см/с			Период ускор., с	Период скор., с
						E - W	N - S	Z	E - W	N - S	Z		
1	13.06.2009	21-27-22.0	KNDC	230	3-4	2.3	2.6	2.3	0.15	0.16	0.12	0.12	1.2

**Рисунок 3. Карта изосейст Текелийского землетрясения 13.06.2009 г.****Рисунок 4. Спектры реакции Текелийского землетрясения 13.06.2009 г. (станция KNDC)**

Как по амплитудам ускорений, так и по амплитудам скоростей по ранее полученной инструментальной шкале интенсивности [2] можно оценить значение интенсивности в баллах в месте регистрации сильных движений. Оно составляет 3-4 балла.

КАПЧАГАЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

1 мая 2011 г. в 08 часов 31 минуту по местному времени жители г. Алматы ощутили землетрясение, интенсивность которого на территории города составила 4-5 баллов. Это землетрясение почувствовало большинство населения г. Алматы и пригородов [3]. Координаты землетрясения $\varphi = 43.62^\circ$, $\lambda = 77.7^\circ$, магнитуда $m_b=5.3$, $M_s=4.8$, $M_w=5.4$, $m_{rv}=5.9$, $K=13.1$.

Особенностью землетрясения Капчагайского землетрясения явилось то, что после него в течение всего дня и последующей ночи неоднократно повторялись ощутимые толчки небольшой интенсивности 2-3, 3-4 балла. Макросейсмические обследования провели сотрудники ГУ «СОМЭ КН МОН РК» и НПК «ПРОГНОЗ» [4], полученные в ходе обследования изосейсты показаны на рисунке 5.

Станция сильных движений KNDC находилась на расстоянии 79 км от эпицентра Капчагайского землетрясения, станция Подгорная – 153 км. Оценены характеристики записей и соответствующих им спектров реакции. При главном толчке пиковые ускорения грунта в пункте KNDC составили 8.4 см/с² (рисунок 6, таблица 4). По шкале интенсивности землетрясений MSK-64 (K) такие значения характеризуют интенсивность 4 балла [3]. Станция KNDC расположена в южной части города, сильнее это землетрясение ощущалось в северной части Алматы, где интенсивность могла достигать 5 баллов [3].

Таблица 4. Параметры сильных движений (максимальные амплитуды ускорений) Капчагайского землетрясения

№	дата	время в очаге	Станция	Δ , км	I, баллы, в рег. пункте	Амплитуды ускорений, см/с ²			Амплитуды скоростей, см/с			Период ускор., с	Период скор., с
						E - W	N - S	Z	E - W	N - S	Z		
1	13.06.2009	21-27-22.0	KNDC	72	4-5	4,1	13,7	9,3	0,16	0,63	0,49	0,11	0,5
			PDG	151		1,2	1,3	1,2	0,06	0,07	0,07	0,2	0,2
			MAKZ	491		0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,32	1,0

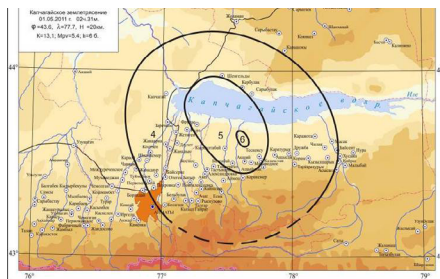


Рисунок 5. Изосейсты землетрясения 01.05.2011 г. [4]

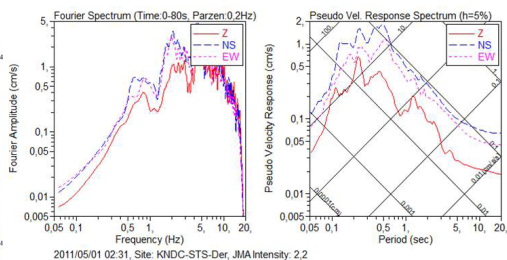


Рисунок 6. Спектры реакции Капчаайского землетрясения 01.05.2011 г. (станция KNDC)

ТОРАЙГЫРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

31 мая 2012 года 03:20 местного времени (30.05 2012 21:20 UTC) жители южной столицы ощутили землетрясение, которое произошло на расстоянии 150 км от г. Алматы, в районе горного массива Кокпек на юго-востоке Казахстана [5]. Координаты землетрясения $\varphi = 43.38^\circ$, $\lambda = 78.77^\circ$, магнитуда $m_b = 5.7$, $M_w = 5.3$, $m_{rv} = 6.0$, $K = 13.7$. На территории г. Алматы землетрясение ощущалось с интенсивностью 4 балла. В таблице 5 представлены параметры сейсмических воздействий Торайгырского землетрясения по станциями СД РГП ИГИ, на рисунке 7 представлены спектры реакции землетрясения по станции KNDC. Максимальные амплитуды ускорений наблюдались для станций KNDC (146 км) и PDGK (144 км) и составили 9.2 см/с^2 для обеих станций, в обоих населенных пунктах интенсивность составила 4 балла по шкале МСК-64.

Таблица 5. Параметры сейсмических воздействий Торайгырского землетрясения

№	Дата	время в очаге	Станция	Δ , км	I, баллы, в рег. пункте	Амплитуды ускорений, см/с^2			Амплитуды скоростей, см/с			Период ускор., с	Период скор., с
						E - W	N - S	Z	E - W	N - S	Z		
1	13.06.2009	21-27-22.0	KNDC	146	4	9.2	3.1	4.5	0.97	0.18	0.20	0.5	0.6
			KKAR	669		0.1	0.2	0.2	0.01	0.02	0.02	0.5	0.8, 3.0
			MAKZ	458		0.1	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.3, 1.0	4.0
			MNAS	520		0.2	0.1	0.1	0.01	0.02	0.02	0.3, 1.0	1.1
			PDGK	144	4	9.2			0.35			0.3	0.8

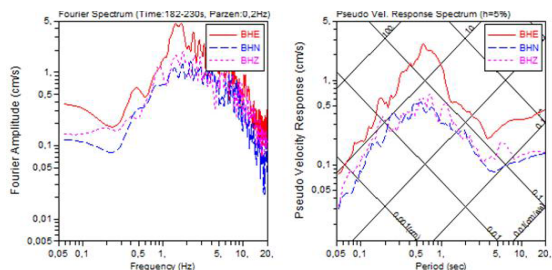


Рисунок 7. Спектры реакции Торайгырского землетрясения 30.05.2012 г. (станция KNDC)

САРЫДЖАЗСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

28 января 2013 г. в 22:38 местного времени (16:38 UTC) жители г. Алматы ощутили интенсивные колебания. Землетрясение произошло в 225 км на юго-восток от города на территории Раимбекского района Алматинской области на расстоянии 40 км от поселка Сарыдżаз. Координаты землетрясения $\varphi = 42.52^\circ$, $\lambda = 79.67^\circ$, магнитуда $m_b = 6.1$, $M_s = 6.2$, $M_w = 6.1$, $m_{rv} = 6.5$, $K = 14.7$ [6]. Сотрудники ГУ СОМЭ МОН РК и ИС РК провели макросейсмическое обследование землетрясения, на рисунке 8 представлена карта изосейст. Интенсивность сотрясения грунта в населенных пунктах Тасаш, Сарыдżаз и Нарынкол вблизи эпицентральной зоны составила 6 баллов по международной сейсмической шкале MSK-64. В поселке Кеген – 4-5 баллов. В городе Алматы интенсивность составила 3-4 балла, в городе Талдыкоргане – 2 балла [6]. По сообщениям Казинформ-агентства со ссылкой на агентство «Синьхуа», на территории КНР были повреждены 4 062 жилых дома, пострадали 14 217 человек. На территории Казахстана жертв и серьезных разрушений не было.

За первые сутки после главного толчка последовало более 500 афтершоков, из которых некоторые были ощутимыми. Афтершоковая активность продолжается уже более 9 месяцев, последний ощутимый афтершок был зарегистрирован 6 сентября 2013 года.

В таблице 6 представлены параметры сильных движений Сарыдżазского землетрясения и его афтершоков. Максимальная амплитуда ускорения была зафиксирована станцией Подгорная PDGK $A_{\text{max}} = 5.8 \text{ см/с}^2$. Немного меньшие значения наблюдались по станции KNDC $A_{\text{max}} = 3.5 \text{ см/с}^2$. На рисунке 9 представлены записи и спектры реакции Сарыдżазского землетрясения 28.01.2013 г. в 16-38-53.8 по станции KNDC. В поселке Подгорное (81 км) интенсивность сотрясений составила 4-5 баллов, а в г. Алматы (229 км) – 4 балла.

Таблица 6. Параметры сейсмических воздействий Сарыдżазского землетрясения

№	Дата	время в очаге	Станция	Δ , км	I, баллы, в рег. пункте	Амплитуды ускорений, см/с^2			Амплитуды скоростей, см/с			Период ускор., с	Период скор., с
						E - W	N - S	Z	E - W	N - S	Z		
1	28.01.2013	16-38-53.8	PDGK	81	4-5	5.8	4.1	4.0	0.66	0.43	0.31	1	1.5
			KNDC	229	4	2.7	3.5	2.3	0.36	0.35	0.25	1	1
			MAKZ	502		0.2	0.2	0.2	0.05	0.04	0.04	0.4	2
			SFK	587		0.6	0.3	0.6	0.15	0.14	0.12	2	2
				585		0.2	0.4	0.3	0.04	0.1	0.05	1.6	1.65

Полученные результаты следует учитывать как в методическом, так и в практическом аспекте при будущих работах по сейсмическому микрорайонированию территории г. Алматы и для оценки сейсмической опасности Казахстана.

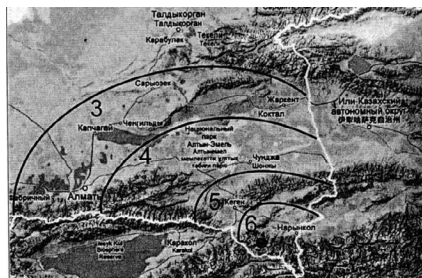


Рисунок 8. Изосейсты Сарыджазского землетрясения 28.01.2013 г в 16-38-52.4

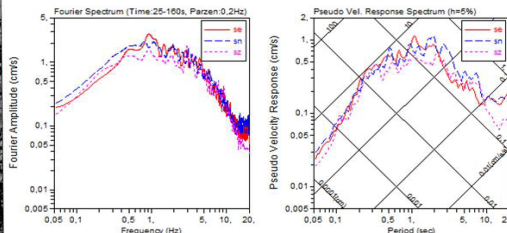


Рисунок 9. Спектры реакции Сарыджазского землетрясения 28.01.2013 г. Станция KNDC

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А.Н., Узбеков Р.Б. Использование данных по сильным движениям для прогноза воздействий на площадки строительства ответственных объектов Казахстана. // Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов/ассоциация «Ядерное общество Казахстана» - Алматы. 2012. - с.92-97.
2. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Текелийское землетрясение в Казахстане в 2009 году: очаг и воздействия. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010 г. Москва. Т.37, 2. с.20 - 33.
3. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 г. // Вестник НЯЦ РК. - 2013. - Вып. 1. с.103-110.
4. Нысанбаев Т.Е., Тарадаев Н.А., Жунусов А. и др. // Отчет по результатам макросейсмического обследования землетрясения 01.05.2011 г.
5. Даугавет В.П., Лапин В.А. Регистрация землетрясения 31.05.2012 г. станциями инженерно-сейсмометрической службы города Алматы. // Сборник материалов IV Междун. научно-практ. конф. - Алматы, 2012. - с.149-153.
6. Панин В.И., Нысанбаев Т.Е., Гессель М.О., Неверова Н.П., Тарадаева Т.В. Казахстан, Сарыджазское землетрясение 28 января 2013 года. // Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. Обнинск, 2013. - с.237-241.

БАЗА ДАННЫХ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ НА КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЯХ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА

Соколов А.Н.

РГП Институт геофизических исследований РК, Алматы

ВВЕДЕНИЕ

В современной сейсмологии одной из самых актуальных задач является оценка сейсмических воздействий на инженерные сооружения, здания и окружающую среду. Особенно важно решение этой проблемы для Казахстана, так как юг и юго-восток республики, где расположен крупнейший город Алматы, находится в районах с интенсивностью сотрясений от 8 до 10 баллов. Кроме того в республике находится большое количество ответственных объектов, таких как исследовательские реакторы, хранилища радиоактивных отходов, гидросооружения и т.д., в будущем планируется строительство АЭС. Правильная оценка сейсмических воздействий при проектировании и эксплуатации столь ответственных объектов значительно влияет на снижение социально-экономического ущерба, причиняемого землетрясениями. Кроме того, изучение сильных движений очень важно и для научных исследований процессов в очагах сильных землетрясений, моделей затухания ускорений, скоростей, смещений.

Сеть наблюдений и используемые материалы

Сеть станций РГП ИГИ, 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).

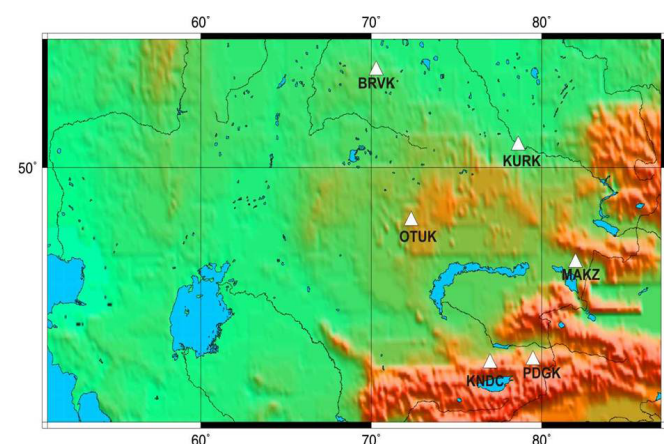


Рисунок 1. Карта расположения станций сильных движений сети РГП ИГИ

Первая станция сильных движений сети РГП ИГИ начала свою работу в сентябре 1996 г., когда на сейсмической станции IRIS GSN в Маканчи был установлен акселерограф сильных движений FBA23. Постоянный мониторинг сильных движений в Центре данных ИГИ был начат с 2005 г. после установки прибора сильных

движений на территории Центра данных (станция KNDC). За время работы станций сильных движений по результатам обработки были сформированы каталоги параметров сильных движений и соответствующих спектров реакции. В настоящее время база данных в KNDC содержит информацию по 116 землетрясениям и 130 записям землетрясений. Диапазон магнитуд m_b землетрясений составляет от 2.7 до 6.9, диапазон эпицентральных расстояний от 18 до 997 км. В базе данных есть события, зарегистрированные несколькими станциями. Наибольшее количество записей имеется по станции KNDC, установленной в г. Алматы в Центре данных в 2005 г. Максимальное ускорение зарегистрировано при землетрясении 29 декабря 2007 г. с $m_b = 4.5$ станцией KNDC на расстоянии 26 км от очага, $A_{max}(NS) = 33.9 \text{ см/с}^2$.

На рисунке 2 представлено распределение по магнитудам и расстояниям всех полученных записей сильных движений сети РГП ИГИ. Из рисунка видно, что практически отсутствуют данные о сильных движениях землетрясений с большими магнитудами на близких расстояниях, необходимые для прогноза воздействий.

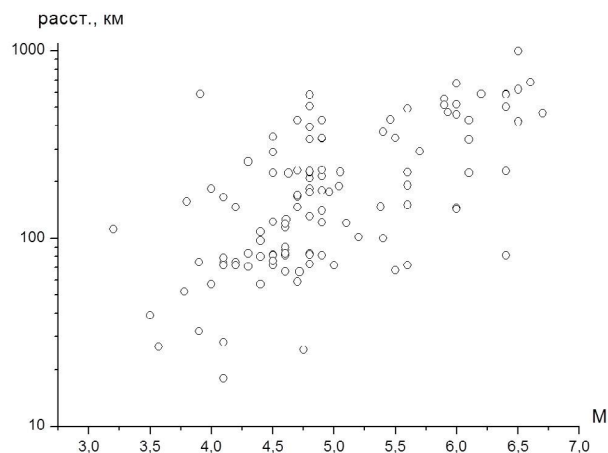


Рисунок 2. Распределение записей сильных движений по магнитудам и расстояниям

Имеющаяся выборка демонстрирует скоррелированность значений расстояний и магнитуд: все сильные землетрясения зарегистрированы, как правило, на больших расстояниях, а на малых расстояниях имеются записи только слабых событий. Это распределение свидетельствует о том, что получить надежную зависимость для затуханий максимальных ускорений только по данным исследуемого региона пока невозможно.

Методика обработки и база данных сильных движений

Обработка данных сильных движений существенно отличается от рутинной обработки сейсмических событий в Центре данных [3]. Рутинная обработка данных происходит в несколько этапов: обнаружение вступлений и определение параметров сигнала; автоматическая локализация событий; срочная обработка силь-

ных событий; оставление оперативного бюллетеня, составление совместного с СОМЭ МОН РК бюллетеня для территории Центральной Азии. Для определения динамических и кинематических параметров сейсмических событий производится расстановка времен вступлений основных сейсмических фаз, замеры максимальных амплитуд, f - k анализ для сейсмических групп, после чего производится локализация события, определяются координаты, глубина, время в очаге, магнитуда и энергетический класс.

Обработка данных сильных движений направлена на изучение параметров записей ускорений, скоростей, смещений (то есть воздействий во временной области), а также параметров воздействий в спектральной области. Для этого необходимо производить с записью различные преобразования: интегрировать, дифференцировать записи, рассчитывать спектр Фурье и спектр реакции, оценивать параметры спектров. Спектр реакции представляется в тройном логарифмическом масштабе, что позволяет анализировать одновременно три кинематических параметра.

Несмотря на то, что база данных сети сильных движений ИГИ постоянно пополняется, данных для изучения закона затухания амплитуд сильных движений недостаточно. В связи с этим, была проведена большая работа по сбору данных по параметрам сильных движений по станциям, расположенным на территории Северного Тянь-Шаня по литературным данным [5, 6, 7]. Были собраны данные по 760 записям сильных движений, зарегистрированных как аналоговой, так и цифровой аппаратурой с 1970 по 2010 гг., диапазон расстояний составил от 5 до 1 220 км, диапазон магнитуд MLH от 2.3 до 7.5.

На рисунке 3 приведена схема базы данных сильных движений, в состав которой вошли:

1. База данных сильных движений сети РГП ИГИ, (1997-2013), составленная по цифровым данным приборов сильных движений [1].
2. Каталог параметров сильных движений ИС МОН РК (1970-1995), составленный Михайловой Н.Н. по оцифрованным аналоговым записям сети станций сильных движений, установленных на территории Северного Тянь-Шаня [5, 6].
3. База данных сильных движений г. Алматы ИС МОН РК (2000-2010), составленная по цифровым данным станций сильных движений, расположенных на территории г. Алматы [7].
4. Каталог параметров сильных движений (1970-2005), созданный в рамках проекта CASRI по данным Центральноазиатских станций.

Созданная база данных явилась объединением всех данных в унифицированном формате (рисунок 4). В объединенной базе данных содержится 890 записей сильных движений, максимальное ускорение было зарегистрировано станцией Курменты на расстоянии 35 км от эпицентра Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 года с $MLH = 6.4$, $A_{max} = 675 \text{ см/с}^2$.

На рисунке 5 представлено распределение всех записей созданной базы данных по расстояниям и магнитудам.



Рисунок 3. Схема базы данных сильных движений

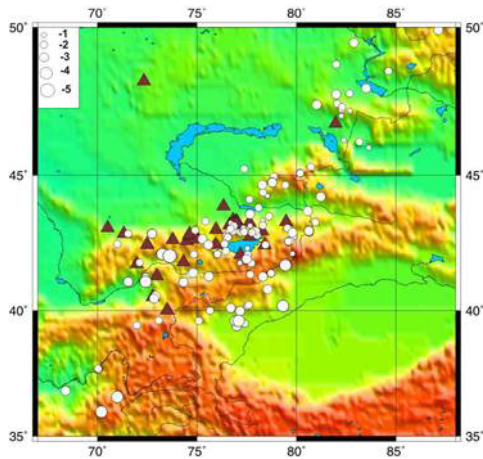


Рисунок 4. Карта расположения эпицентров сейсмических событий, вошедших в объединенную базу данных сильных движений, за период 1970-2013 гг., с магнитудами:
 1) $mb < 4$; 2) $4 \leq mb < 5$; 3) $5 \leq mb < 6$; 4) $6 \leq mb < 7$, $mb \geq 7$

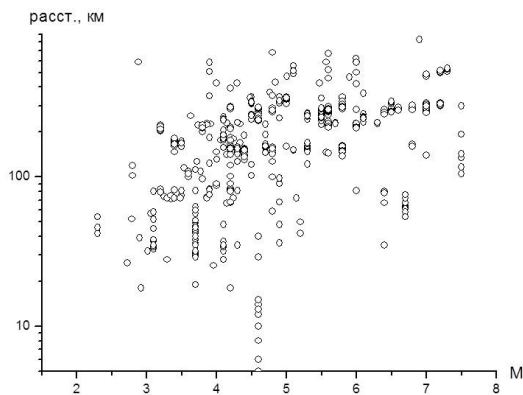


Рисунок 5. Распределение по магнитудам и расстояниям акселерограмм землетрясений Северного Тянь-Шаня и Джунгарии

Модель затухания сильных движений для оценки воздействий

Для оценки воздействий землетрясений на объекты в настоящее время существует две возможности: это теоретический прогноз сейсмических воздействий, который в настоящее время реализовать практически невозможно ввиду того, что строение и свойства среды на трассе распространения сигнала, как правило, не очень хорошо изучены, кроме того очаги сильных землетрясений имеют сложное строение. В связи с этим, более перспективным является использование эмпирического прогноза, с использованием записей колебания грунта на площадке сооружаемого объекта. Для использования этого метода необходимо знать модель затухания амплитуд сильных движений, которая дает возможность рассчитать воздействие для заданной магнитуды, механизма очага, расстояния до сейсмогенерирующего разлома.

На рисунке 6 представлен один пример затухания максимальных амплитуд ускорений для станций сети сильных движений РГП ИГИ для Сарыджазского землетрясения 28.01.2013. Только большая статистика данных подобного рода поможет получить эмпирическое уравнение затухания для данного района, то есть представить зависимость уровня колебаний от магнитуды, расстояния, параметров очага и грунтовых условий. Такую зависимость называют моделью затухания ускорений.

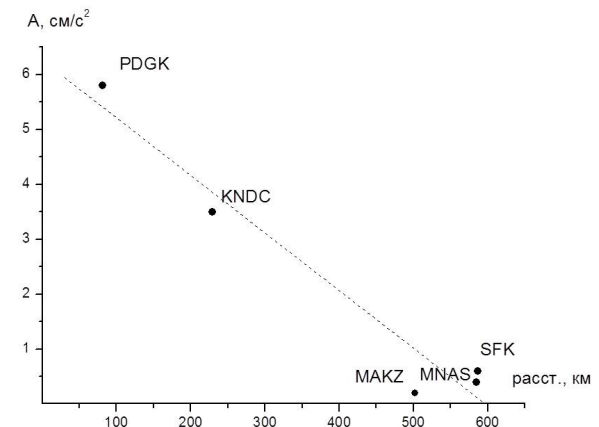


Рисунок 6. Затухание максимальных амплитуд ускорений для станций сети сильных движений РГП ИГИ, Сарыджазского землетрясения 28.01.2013 г. $t_0=16-38-53.8$

Согласно рисунку 8, собранных за 43 летний период данных по сильным движениям для Северного Тянь-Шаня и Джунгарии для построения собственной модели затухания безусловно недостаточно. Практически отсутствуют данные о сильных движениях землетрясений с большими магнитудами на близких расстояниях, а также событий с магнитудами менее 4.5 на удаленных расстояниях. В подобных случаях обычно подбирают наиболее подходящую для условий данного региона мировую модель затухания, т.е. модель, построенную на данных представительной выборки по ряду районов, где имелось много станций сильных движений и достаточное количество зарегистрированных ими землетрясений. В качестве при-

мера была выбрана модель Абрахамсона-Сильвы 2008 г. [8]. Эта модель применима для магнитуд Mw от 5 до 8.5, расстояний 0 - 200 км и спектральных периодов 0-10 с. В связи с этим из нашей базы данных сильных движений были выбраны события, удовлетворяющие этим условиям.

Модель для медиан сильных движений задана уравнением:

$$\ln Sa(g) = f_1(M, R_{rup}) + a_{12}F_{RV} + a_{13}F_N + a_{15}F_{AS} + f_5(PGA_{1100}, V_{S30}) + F_{HW}f_4(R_{jb}, R_{rup}, R_x, W, dip, Z_{top}, M) + F_{RV}f_6(Z_{top}) + (1 - F_{RV})f_7(Z_{top}) + f_8(R_{rup}) + f_{10}(Z_{10}, V_{S30}) \quad (1)$$

где

- M – моментная магнитуда;
- R_{rup} – расстояние до разрыва;
- R_{jb} – расстояние Джойнера-Бура;
- R_x – горизонтальное расстояние до границы разрыва (измеренный перпендикуляр до простирания разлома);
- Z_{top} – глубина-верх разрыва;
- F_{RV} – индикатор для землетрясения с механизмом взброс;
- F_N – с механизмом сброс;
- F_{AS} – индикатор для афтершоков (1 для афтершоков, 0 для основных толчков, форшоков и роев);
- F_{HW} – индикатор для висячего блока;
- D_{ip} – угол падения разлома в градусах;
- V_{S30} – скорость распространения поперечных волн на глубине 30 м;
- $Z_{1.0}$ – глубина, для которой $V_s = 1.0$ км/с;
- PGA_{1100} – медиана пиковых ускорений (g) для $V_{S30} = 1100$ м/с;
- W – ширина разрыва в км.

Функционалы $f_1 - f_{10}$ зависят от типа грунта под станцией, магнитуды, длины и глубины разрыва, а также фокального механизма землетрясения [8].

Указанный выше алгоритм реализован в виде программного обеспечения [9] и протестирован на данных по сильным движениям, зарегистрированным северотяньшаньскими и джунгарскими станциями. Из базы данных по сильным движениям были выбраны данные, удовлетворяющие условиям применимости модели Абрахамсона-Сильвы, произведены расчёты пиковых ускорений (PGA) согласно модели Абрахамсона-Сильвы, произведено сравнение полученных расчетных значений и наблюдаемых на станциях сильных движений. На рисунке 7 и 8 представлено распределение по расстояниям и магнитудам отношения расчетных согласно модели Абрахамсона-Сильвы (Ar) и наблюдаемых ускорений (An) для района Северного Тянь-Шаня и Джунгарии. На рисунке 9 представлено интегральное распределение значений логарифма отношений расчетных и наблюдаемых ускорений. Медиана логарифма отношений расчетных, и наблюдаемых ускорений составила 0,228. Это говорит о том, что прогнозируемые значения по выбранной модели незначительно (в среднем в 1.7 раза) завышают наблюдаемые ускорения. Требуется введение поправок в уравнение, либо продолжение тестирования других моделей, используемых в мировой практике.

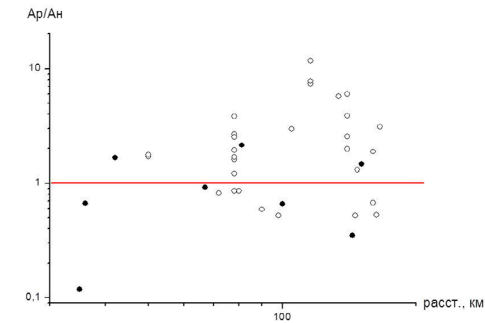


Рисунок 7. Распределение по расстояниям Ar/An для района Северного Тянь-Шаня и Джунгарии
● – станции, установленные на скальных грунтах,
○ – станции, установленные на рыхлых грунтах.

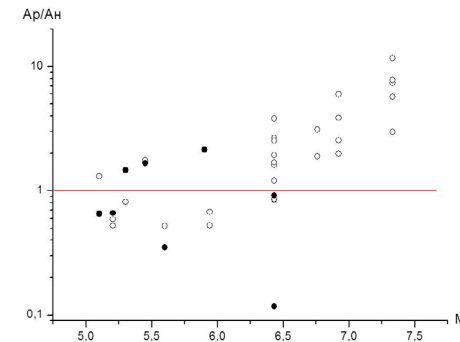


Рисунок 8. Распределение по магнитудам Ar/An для района Северного Тянь-Шаня и Джунгарии
● – станции, установленные на скальных грунтах,
○ – станции, установленные на рыхлых грунтах.

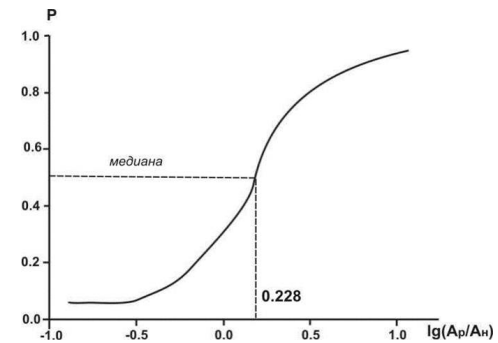


Рисунок 9. Интегральное распределение значений логарифма отношений расчетных, согласно модели Абрахамсона-Сильвы и наблюдаемых ускорений для района Северного Тянь-Шаня и Джунгарии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые создана база данных параметров сильных движений, в которой объединены данные разных организаций, разных приборов, за разные периоды времени. На данный момент в ней содержится 890 записей за период 1970-2013 гг. на эпицентральных расстояниях от 5 до 1 220 км. Имеющаяся информация свидетельствует о недостаточном развитии сетей сильных движений в Казахстане, невозможности получить по ним региональной зависимости для прогноза сейсмических воздействий.
2. Проведено сравнение результатов наблюдений сильных движений с мировой зависимостью Абрахамсона-Сильвы, свидетельствующее о завышении (в среднем в 1.7 раза) расчетных по модели значений по сравнению с наблюдаемыми. Получена поправка для Северного Тянь-Шаня и Джунгарии для использованной модели затухания максимальных амплитуд ускорений.
3. Созданную базу данных и полученные результаты по тестированию модели следует учитывать как в методическом, так и в практическом аспекте при будущих работах по сейсмическому микрорайонированию, при строительстве АЭС и хранилищ ядерных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Соколов, А.Н.* Использование данных по сильным движениям для прогноза воздействий на площадки строительства ответственных объектов / *А.Н.Соколов, Р.Б.Узбеков* // Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии. Доклады международной конференции молодых ученых и специалистов. 6-8 июня 2012 г. г. Алматы ИЯФ. с.97-105.
2. *Даугавет, В.П.* Регистрация землетрясения 31.05.2012 г. станциями инженерно-сейсмометрической службы города Алматы / *В.П. Даугавет, В.А. Лапин* // Сборник материалов IV Междун. научно-практ. конф. - Алматы, 2012. - с.178-182.
3. *Михайлова, Н.Н.* Организация обработки данных в Центре специальной сейсмической информации ИГИ НЯЦ РК / *Н.Н. Михайлова, З.И. Синева* // Докл 2-го Казахстанско-Японского семинара по предотвращению последствий разрушительных землетрясений. 23-25 сентября 2002 г. с.301-306. Алматы, 2003.
4. *Kashima, T.* 2002. ViewWave Help, IISEE, BRI.
5. *Михайлова, Н.Н.* Каталог основных и спектральных параметров сейсмических воздействий по сильным землетрясениям Казахстана (1970-1992 гг.) // Алматы. ИС МОН РК. 76 с.
6. *Михайлова, Н.Н.* Сейсмическая опасность в количественных параметрах сильных движений грунта (на примере г. Алматы). // Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Москва. 1996. 338 с.
7. *Абаканов, Т.* ред. Каталог параметров движений грунта по данным цифровой сети станций сильных движений на территории г. Алматы за 2000-2010 г.// Алматы. 2011. ИС МОН РК. 136 с.
8. *Abrahamson, N.A.* Summary of the Abrahamson and Silva NGA ground-motion relations. / *N.A. Abrahamson, W.J. Silva* // Earthquake Spectra, 2008. 24: 67-97.
9. Интернет ресурс Next Generation Attenuation (NGA) Models: http://peer.berkeley.edu/ngawest/nga_models.html

ИЗУЧЕНИЕ ЗАПИСЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ С ПОЛИГОНОВ ЮЖНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

УДК 550.344

Узбеков А.Н., Великанова А.А.

РГП Институт геофизических исследований РК, Алматы

ВВЕДЕНИЕ

Изучение землетрясений из районов испытательных ядерных полигонов является в настоящее время актуальной задачей для исследователей в области мониторинга. Это связано с несколькими аспектами: во-первых в связи с задачей сейсмического распознавания ядерных взрывов и землетрясений; во-вторых с изучением сейсмической опасности районов испытательных полигонов, так как на этой территории могут находиться ответственные объекты, связанные с инфраструктурой полигона, и объекты радиационного заражения; в третьих с целью изучения геодинамических процессов, связанных с поствзрывными эффектами.

В задачи настоящей работы входило изучение волновых форм землетрясений из районов ядерных полигонов Южной и Центральной Азии.

1. Проведен анализ мировых сейсмологических бюллетеней, данных по исторической сейсмичности районов испытательных полигонов СИП, Лобнор, Чагай и Похаран из разных источников.
2. Из различных сейсмологических архивов Казахстана выбраны и оцифрованы аналоговые исторические сейсмограммы землетрясений. Создана база данных.
3. Проведен детальный анализ волновой картины записей землетрясений из районов ядерных полигонов.

1. Геолого-тектоническая характеристика районов испытательных полигонов СИП, Лобнор, Чагай, Похаран

Семипалатинский испытательный полигон расположен в Казахстане на территории трех областей (Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской) с общими размерами 180 км по длине и 140 км по ширине. Площадь полигона - 18 450 км². Географические координаты центра территории 50° с.ш. 78° в.д. В топографическом плане территория СИП представляет собой совокупность различных типов рельефа – равнинного в пределах площадок Балапан, Опытного поля и горного в пределах площадок Дегелен, Муржик. В геологическом отношении территория полигона представлена большим разнообразием горных пород от осадочных и эффузивно-осадочных (глинами, песчаниками, сланцами, туфами и т.д.) до эффузивных и интрузивных образований (липарито-дацитов, гранитов, диоритов, сиенитов и т.д.) различного возраста от четвертичного и триас-юрского до каменноугольного [1].

На территории СИП в период 1949-1989 гг. было проведено 456 ядерных испытаний, в том числе 116 атмосферных и 340 подземных. Испытания проводились в различных технических условиях (в атмосфере, в вертикальных скважинах, в

горизонтальных штольнях и т.д.). Глубина проведения ПЯВ для скважин участка Балапан находилась в пределах от 150 до 700 м. Мощность ядерных зарядов изменялась в пределах от 0,001 до 1 500 кт.

Район территории СИП характеризуется сложной тектонической обстановкой. Через территорию СИП проходят мощные региональные разломы северо-западного простирания. Один из них – Главный Чингизский разлом (самый сейсмоактивный) проходит далеко на юго-восток, на границе с Китаем соединяется с Джунгарским сейсмоактивным разломом северо-западного простирания и далее эта активная тектоническая структура (разлом) проходит через полигон Лобнор.

Полигон Лобнор (Северно-Западный Китай) расположен в провинции Синьцзян, приблизительно в 600 км к юго-востоку от Казахстанско-Китайской границы. Географические координаты: 41°30' с.ш. 88°30' в.д. Полигон расположен в пустыне Такла-Макан в восточной части Таримской впадины, которая относится к бессточной области или области внутреннего стока воды. Поверхность впадины сложена рыхлыми песками, на окраинах – пролювиальными и аллювиальными отложениями [2].

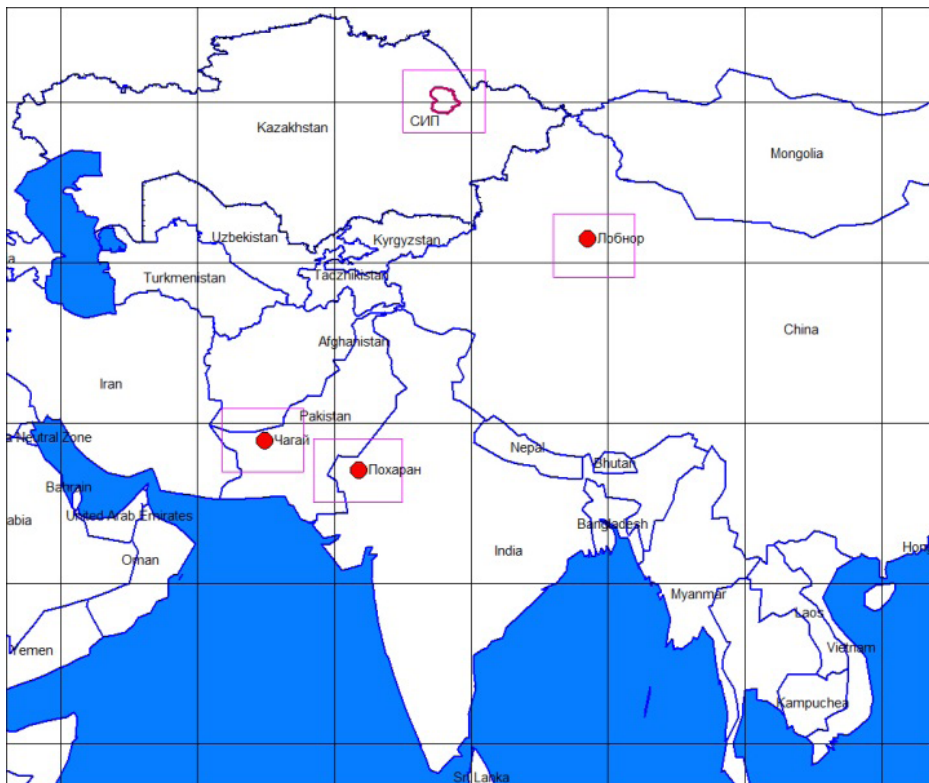


Рисунок 1. Обзорная карта расположения ядерных полигонов Южной и Центральной Азии

Коренные породы в районе полигона выходят в виде небольших холмов, гребней и представлены в основном конгломератами, песчаниками и небольшими проявлениями гранитов. В период 1964-1996 гг. на ядерном полигоне Лобнор проведено 47 ядерных испытаний, в том числе 23 атмосферных и 24 подземных. Мощность ядерных зарядов для поверхностных испытаний находится в пределах от 8 до 4 000 кт, для подземных испытаний от 1 до 660 кт [3]. Подземные ядерные испытания выполнялись в скважинах и горизонтальных штольнях. Информация о глубине заложения заряда отсутствует.

Район полигона Лобнор также характеризуется сложной тектонической обстановкой. Через участок полигона кроме отмеченного выше Джунгарского разлома проходят региональные тектонические разломы субширотного простирания согласно орогенным структурам Восточного Тянь-Шаня. Все эти разломы – сейсмоактивные, включая и Джунгарский разлом, который подходит со стороны СИП.

Полигон Похаран (Индия) расположен в северо-западной части страны. Географические координаты: 27°04' с. ш. и 71°46' в. д. Район полигона Похаран характеризуется равнинным типом рельефа и приурочен к Индо-Гангской равнине в месте глубокой впадины у южного подножья Гималаев [2]. В геологическом плане район представлен мощными четвертичными и неогеновыми осадочными отложениями (аллювиальными глинами, песками и конгломератами).

В 1974 и 1998 годах на полигоне Похаран было проведено три ядерных испытания, в которых было взорвано шесть ядерных устройств. Заряды ядерных устройств располагались в скважинах, мощность зарядов находится в интервале от 12 до 46 кт [3].

Район Полигона Похаран характеризуется более спокойной тектонической обстановкой, так как он находится в северо-западной части Индийской платформы. Через территорию полигона проходят редкие тектонические разломы северо-восточного простирания. Территория полигона в сейсмическом отношении малоактивна.

Полигон Чагай (Пакистан) расположен в западной части страны. Географические координаты: 28°54' с.ш. и 64°54' в.д. Полигон Чагай находится в пустынной равнине Харан южнее горного хребта Чагай. Сама равнина сложена мощной толщей речных аллювиальных отложений. Коренные породы хребта сложены эффузивно-осадочными породами кайнозойского возраста [2].

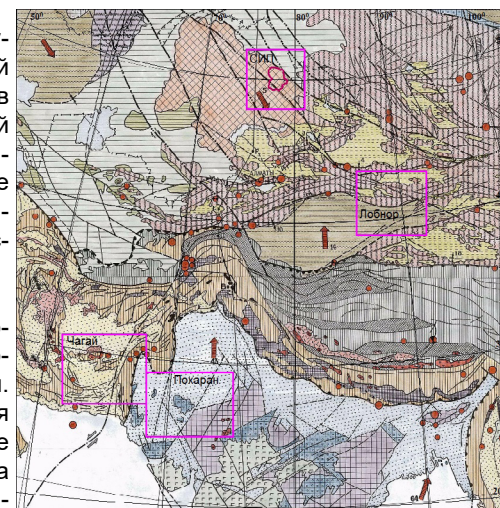


Рисунок 2. Положение исследуемых полигонов на карте Альпийской геодинамики Северной и Центральной Азии (составленной А.В. Тимушем, Институт сейсмологии Республики Казахстан), 1996 г.

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ТИПЫ АЛЬПИЙСКИХ ГЕОМОРФОСТРУКТУР
GEODYNAMIC TYPES OF ALPINE GEOMORFOSTRUCTURES

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ GENETIC TYPES	ПЛАТФОРМЫ PLATFORMS						
	ДРЕВНИЙ OLD	МОЛОДАЯ YOUNG	ЭПИГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫЕ EPIGEOSYNCLINAL	ЭПИПЛАТОФОРМНЫЕ EPIPLATOFORMAL	ТЕЛЕОКЛИНАЛЬНЫЕ TELEOCLINAL	ТЕЛЕОСТРАУКЦИОНАЛЬНЫЕ TELEOSTRUCTURAL	СУБСТАУКЦИОНАЛЬНЫЕ SUBSTRUCTURAL
СТРУКТУРНО-Вещественные комплексы и морфоструктуры STRUCTURAL-SUBSTANCES COMPLEXES AND MORFOSTRUCTURES	ПРЕССИОННЫЙ PRESSION	КОМПРЕССИОННЫЙ COMPRESSIONAL	КЛИМАКЦИОННЫЙ CLIMACIONAL	СУБСТАУКЦИОНАЛЬНЫЙ SUBSTRUCTURAL	ТЕЛЕОКЛИНАЛЬНЫЙ TELEOCLINAL	ТЕЛЕОСТРАУКЦИОНАЛЬНЫЙ TELEOSTRUCTURAL	СУБСТАУКЦИОНАЛЬНЫЙ SUBSTRUCTURAL
АДРЕМБРИОННЫЙ ИЛИ ДОДРЕМБРИОННЫЙ ФУНДАМЕНТ PREDAMBRIC OR PROTAMBRIC BASEMENT	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
ПАЛЕОЗОИЧЕСКИЙ ФУНДАМЕНТ PALAEZOIC BASEMENT	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
ПАЛЕОЗОИЧЕСКИЙ СКАЛАЧАТЫЙ КОМПЛЕКС PALAEZOIC FOLDED COMPLEXES	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
МЕЗОЗОИЧЕСКО-КАЙНОЗОИЧЕСКИЙ ЧЕХЛА ПЛАТФОРМ MESOZOIC-CENOZOIC COVER OF THE PLATFORMS	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
ВНЕДРИТЕЛЬНЫЕ МЕЗОЗОИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ НА ВУЛКАНО-ПЛАТОФОРМНОМ ПОДЛОЖИИ INTRUSIVE MESOZOIC COMPLEXES OUTCROPS ON THE INTRAPLATEAU (INTRA)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
ТРАНСФОРМАЦИОННЫЕ ЛИНИИ ИЛИ ПОСРЕДСТВЕННЫЕ СТРУКТУРЫ TRANSFORMATIONAL LINES OR INTERMEDIATE STRUCTURES OF THE	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
ВНЕДРИТЕЛЬНЫЕ МЕЗОЗОИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В КАЙНОЗОИЧЕСКОМ ПОДЛОЖИИ INTRUSIVE MESOZOIC COMPLEXES IN THE CENOZOIC BASEMENT	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
ВНЕДРИТЕЛЬНЫЕ МЕЗОЗОИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В КАЙНОЗОИЧЕСКОМ ПОДЛОЖИИ INTRUSIVE MESOZOIC COMPLEXES IN THE CENOZOIC BASEMENT	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
ВНЕДРИТЕЛЬНЫЕ МЕЗОЗОИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ В КАЙНОЗОИЧЕСКОМ ПОДЛОЖИИ INTRUSIVE MESOZOIC COMPLEXES IN THE CENOZOIC BASEMENT	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
МЕЗОЗОИЧЕСКИЙ СКАЛАЧАТЫЙ КОМПЛЕКС MESOZOIC FOLDED COMPLEXES	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
КАЙНОЗОИЧЕСКИЙ СКАЛАЧАТЫЙ КОМПЛЕКС CENOZOIC FOLDED COMPLEXES	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
МЕЗОЗОИЧЕСКО-КАЙНОЗОИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС МЕЖДУПЛАТОФОРМНОГО ИЛИ ВУЛКАНО-ПЛАТОФОРМНОГО ПОДЛОЖИИ MESOZOIC-CENOZOIC COMPLEX OF THE INTERPLATEAU AND INTRAPLATEAU BASINS	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
МЕЗОЗОИЧЕСКИЕ ВУЛКАНО-ПЛАТОФОРМНЫЕ ПОРЯДКИ БЕЗ РАССЛАВЛЕНИЯ MESOZOIC VOLCANO-PLATONIC NON-MELTING SEQUENCES	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
МЕЗОЗОИЧЕСКИЕ БАЗАЛТЫ MESOZOIC BASALT	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
КАЙНОЗОИЧЕСКИЕ БАЗАЛТЫ CENOZOIC BASALT	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
КАЙНОЗОИЧЕСКИЕ КИСЛОЕ ВУЛКАНО-ПЛАТОФОРМНЫЕ ПОРЯДКИ CENOZOIC ACID VOLCANIC SEQUENCES	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
КАЙНОЗОИЧЕСКИЕ РАЗЛИЧНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ПОРЯДКИ (ИСКЛЮЧАЯ БАЗАЛТЫ) CENOZOIC VARIOUS STRUCTURAL SEQUENCES (EXCEPT BASALT)	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ЧЕХЛА ПЛАТФОРМ QUATERNARY COVER OF THE PLATFORMS	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]
ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ КОМПЛЕКС МЕЖДУПЛАТОФОРМНОГО ИЛИ ВУЛКАНО-ПЛАТОФОРМНОГО ПОДЛОЖИИ QUATERNARY COMPLEX OF THE INTERPLATEAU AND INTRAPLATEAU BASINS	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]	[Symbol]

- ТИПЫ ГЛАВНЫХ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ГРАНИЦ
THE TYPES OF MAJOR DEFORMATION-TECTONIC BOUNDARIES
- Ограничения коллизионных областей
Boundaries of collision areas
 - Трансформные границы
Transform boundaries
 - Граница поддвижения плиты
Boundary of plate collision
 - Внутриконтинентальные субтрансформные границы
Intracontinental subtransform boundaries
 - Границы между различными типами геоморфоструктур
Boundary between various geomorfostructures types
 - Позднепалеозойские-мезозойские погребенные разрывы
Late Palaeozoic-Mesozoic continental buried rifts
 - Кайнозойский континентальный разрыв (грабен)
Cenozoic continental rift (graben)
 - Разрывы, подразделенные на: а-взрослые и взорванные; б-оборванные; в-с-сдвигающиеся
Fractures, specified: a- reverse fault and reverse-slip fault; b- normal fault; c- strike slip fault
 - Разрывы без расчленения (прямые) и расчлененные (разрывы с поперечными разрывами)
Fractures, unspecified (broken line - buried fractures, hypothetical, within sea area)
- ВИДЫ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ
FORMS OF RECENT GEODYNAMIC ACTIVITY OF THE EARTH'S CRUST
- Наличие вулканической деятельности
Active surface volcanoes
 - Наличие вулканической деятельности в кайнозойскую эру
Extinct surface volcanoes in Cenozoic
 - Подвижные вулканы
Submarine volcanoes
 - Указатели эпитетических очагов в земной коре
Centers of earthquakes with origin in the Earth's crust (a- M₀ 7.0; b- M₀ 6.0)
 - Механизм очагов землетрясений
Earthquake source mechanism
- ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ПЛИТ И ВНУТРИПЛАТФОРМНЫХ БЛОКОВ (мм/год)
HORIZONTAL MOTIONS OF THE PLATE AND INTRAPLATEAU BLOCKS (mm/year)
- Основное направление движения плит и субплит (мм/год)
General direction motion of the plates and subplates (mm/year)
 - Относительное движение блоков
Subrelative blocks motion
 - Механизм и скорость движений (мм/год) по разрывам
Mechanism and speed motions (mm/year) along fractures

Условные обозначения к карте Альпийской геодинамике на рисунке 2

На полигоне Чагай 28.05 и 30.05.1998 г. было проведено два подземных ядерных испытания, в которых было взорвано от трех до шести ядерных устройств. Мощность зарядов находится в интервале от 15 до 45 кт [3].

В районе полигона Чагай наблюдается довольно сложная тектоническая обстановка. Через полигон проходят мощные региональные сейсмоактивные тектонические разломы СВ простирания. Эти тектонические структуры, уходя далее на северо-восток, пересекают активную в сейсмическом отношении горную систему Гиндукуш. В южной части полигона Чагай к региональным тектоническим разломам СВ простирания с западной стороны примыкает система субширотных тектонических разломов.

2. Система наблюдений и используемые материалы

Для исследуемых ядерных полигонов были использованы данные сейсмичности с 1960 года, когда началась непрерывная сейсмическая регистрация событий по

территориям Центральной и Южной Азии. Расширение площади исследуемых районов было выбрано в связи с тем, что точность локализации в 60-70е годы прошлого столетия была низкой, кроме того, сильные землетрясения на расстояниях 100-200 км могут представлять сейсмическую опасность для объектов инфраструктуры полигона. Для полигона Лобнор был выбран район, ограниченный координатами 39-43 с.ш. 86-92 в.д, для Похарана 25-29 с.ш. 68,5-75 в.д., для Чагая 26,9-30,9 с.ш. 61,8-67,8 в.д., для СИП 48-52 с.ш. 75-81.1 в.д.

Для характеристики сейсмичности полигонов были использованы данные сейсмических каталогов, составленные Геологической службой США (USGS) по данным мировой сети станций (каталоги PDE и NEIC) с 1960 г. по 2013 г. После выборки, из полученных каталогов сейсмических событий были удалены данные ядерных и химических взрывов согласно опубликованным литературным данным [5, 6].

Для территории СИП дополнительно использовались данные сейсмических служб бывшего Советского Союза. Был использован «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР» [7], который являлся основой для составления карты общего сейсмического районирования территории СССР 1978 года [8], а также каталог землетрясений, который включен в книгу «Сейсмическое районирование Казахстана» [9]. Использовались также каталоги из ежегодников: «Землетрясения в СССР» [10], начиная с 1968 по 1991 гг., «Землетрясения Северной Евразии» [11] с 1992 по 1998 гг. по двум каталогам – Средней Азии и Казахстана и Алтае-Саянской зоны. Использовались и различные литературные источники, из которых наиболее существенными оказались данные, полученные в работе В. Халтурина [12]. Начиная с 1996-2013 гг. для территории СИП использовались данные из сейсмических бюллетеней ЦСОССИ РГП ИГИ, а также данные сети полевых наблюдений, развернутой на территории испытательных площадок Балапан, Дегелен и Сары-Узень 2005-2010 гг. [13]. На рисунке 3 а-г представлены карты расположения эпицентров землетрясений и ядерных взрывов из районов испытательных полигонов Центральной и Южной Азии.

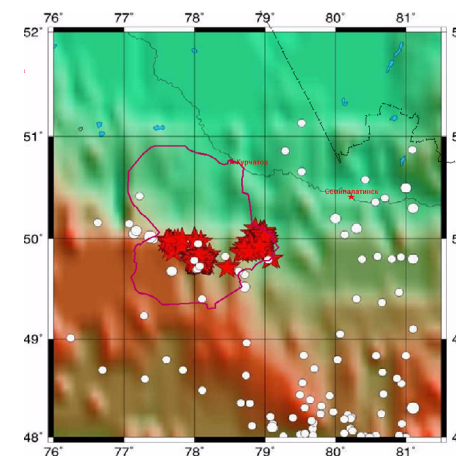


Рисунок 3 а. Карта эпицентров землетрясений (O) и ядерных взрывов (*) в районе СИП и прилегающих территориях

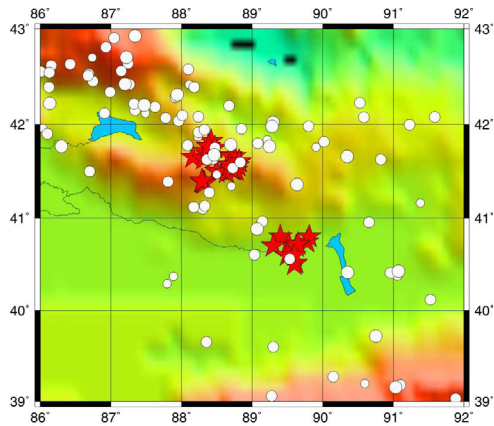


Рисунок 3 б. Карта эпицентров землетрясений (○) и ядерных взрывов (★) в районе полигона Лобнор и прилегающих территориях

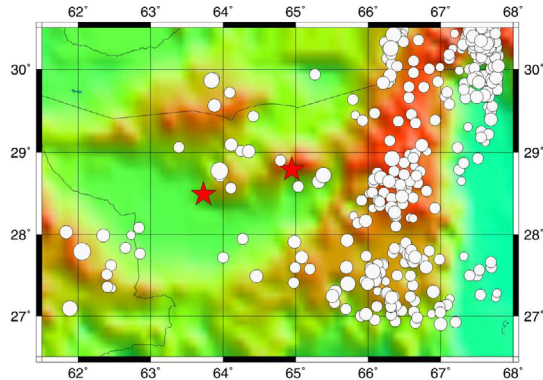


Рисунок 3 в. Карта эпицентров землетрясений (○) и ядерных взрывов (★) в районе полигона Чагай и прилегающих территориях

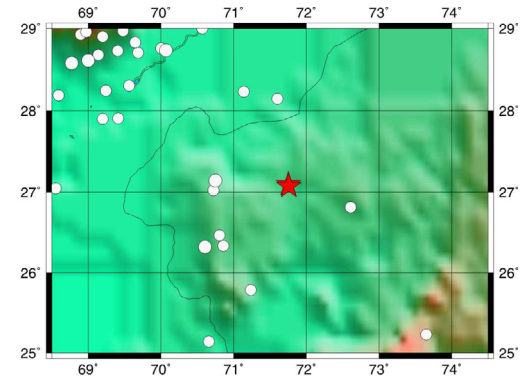


Рисунок 3 г. Карта эпицентров землетрясений (○) и ядерных взрывов (★) в районе полигона Похаран и прилегающих территориях

Таблица 1. Характеристика сейсмичности полигонов Южной и Центральной Азии

Название полигонов	Географическое положение	Кол-во ядерных испытаний	Характеристика сейсмичности с 1960 г.	Геологические условия
СИП (Казахстан)	СВ часть Казахстана	456	Слабо сейсмичный район, максимальная магнитуда $m_b = 5.1$	Все типы горных пород (интрузивные, эффузивные, осадочные и т.д.)
Лобнор (Китай)	СЗ часть Китая	47	Район со средним уровнем сейсмичности, максимальная магнитуда $m_b = 5.7$	В основном отложения осадочных образований
Похаран (Индия)	СЗ часть Индии	3	Район со средним уровнем сейсмичности, максимальная магнитуда $m_b = 5.9$	В основном отложения осадочных аллювиальных образований
Чагай (Пакистан)	Западная часть Пакистана	2	Сейсмически активный район, максимальная магнитуда $m_b = 7.2$	В основном отложения осадочных аллювиальных образований

Из различных сейсмологических архивов Казахстана (КСЭ ИФЗ РАН, РГП ИГИ, СОМЭ МОН РК) выбраны и оцифрованы аналоговые исторические сейсмограммы землетрясений. На рисунке 4 показано расположение станций, по которым собраны и оцифрованы записи землетрясений из районов испытательных полигонов Южной и Центральной Азии.

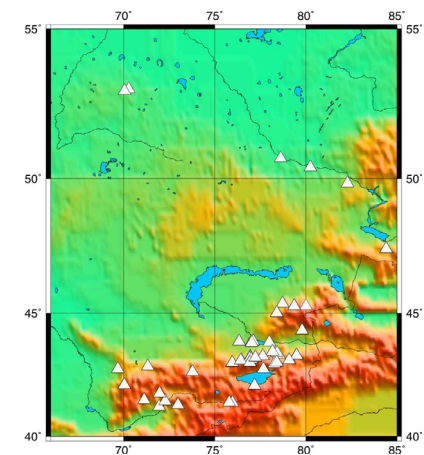


Рисунок 4. Расположение аналоговых сейсмических станций, записи которых были использованы для оцифровки

3. База данных оцифрованных землетрясений из районов полигонов

Аналоговые сейсмограммы сканировались и оцифровывались. В качестве программного обеспечения использован программный комплекс «NXSCAN» [14], ко-

торый в полуавтоматическом режиме позволяет оцифровывать предварительно отсканированные сейсмограммы. Из оцифрованного материала создана база данных, каждая запись в которой содержит следующие таблицы CSS 3.0 [15]: wfdisc, site, sitechan, assoc, origin. Ниже приведена краткая характеристика оцифрованных записей.

Землетрясения вблизи полигона Лобнор. Оцифровано 204 сейсмограммы 24 землетрясений, вблизи полигона Лобнор за 1967-1999 гг. Сейсмограммы зарегистрированы сейсмическими станциями: AAA (Алма-Ата), BOM (Боомское ущелье), BRD (Боролдай), BRTG (Бартогай), CHIN (Чингужа), CHUK (Чушкалы), DZH (Джамбул), DZHR (Джаркент), FAB (Фабричная), ILI (Или), KAC (Кзыл-Агач), KKUL (Каракуль), KPA (Капал-Арасан), KST (Кастек), KRM (Курменты), KUU (Курты), KURM (Курам), MDO (Медео), MRKT (Маркантау), MTB (Майтубе), PDG (Подгорное), RYB (Рыбачье), SATY (Саты), SEM (Семипалатинск), TK (Талды-Курган), TLG (Талгар), TRG (Тургень), TSN (Тянь-Шань), UZB (Узун-Булак), YUZH (Южная), ZSN (Зайсан).

На рисунке 5 показано распределение количества оцифрованных записей землетрясений по расстояниям, диапазон эпицентральных расстояний составляет 540 - 1 550 км. На рисунке 6 приведен пример оцифрованной записи землетрясения вблизи полигона Лобнор, 01.21.1990 07-53-31.9, $\varphi = 41.534^\circ$, $\lambda = 88.728^\circ$, станция AAA.

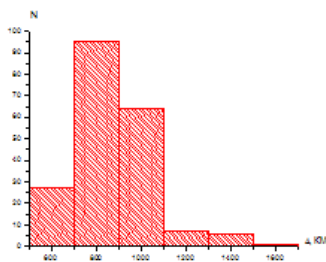


Рисунок 5. Распределение количества оцифрованных записей землетрясений по расстояниям, диапазон эпицентральных расстояний 540 - 1 550 км.

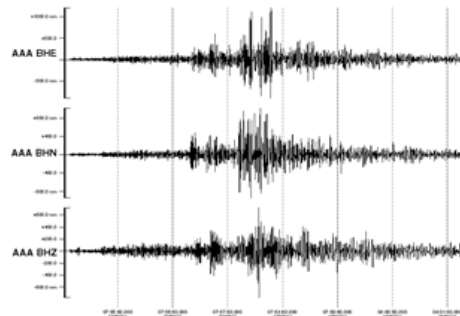


Рисунок 6. Пример оцифрованной сейсмограммы землетрясения вблизи полигона Лобнор, 01.21.1990 07-53-31.9, $\varphi = 41.534^\circ$, $\lambda = 88.728^\circ$, станция AAA

Землетрясения вблизи Семипалатинского испытательного полигона. Оцифровано 54 сейсмограммы 6 землетрясений вблизи СИП за 1966-1996 гг. Сейсмограммы зарегистрированы сейсмическими станциями: AAA (Алма-Ата), ANVS (Ананьево), ARK (Аркит), BRVK (Боровое), EKS (Еркинсай), KDSKG (Каджисай), KPA (Капал-Арасан), KURM (Курам), KZD (Кзыл-Джар), MDO (Медео), MTB (Майтубе), OM (Орто-Мерке), PDG (Подгорное), RYA (Рязансай), SATY (Саты), TERS (Терскей), TK (Талды-Курган), TLG (Талгар), TRG (Тургень), TSN (Тянь-Шань), UKM (Усть-Каменогорск), UZB (Узун-Булак), YUZH (Южная), ZSN (Зайсан).

На рисунке 7 показано распределение количества оцифрованных записей землетрясений по расстояниям, диапазон эпицентральных расстояний составляет

260 - 1 065 км. На рисунке 8 приведен пример оцифрованной записи землетрясения вблизи СИП, 03.20.1976 04-03-42.5, $\varphi = 50.04^\circ$, $\lambda = 77.321^\circ$, станция EKS.

На рисунке 7 показано распределение количества оцифрованных записей землетрясений по расстояниям, диапазон эпицентральных расстояний составляет 260 - 1 065 км. На рисунке 8 приведен пример оцифрованной записи землетрясения вблизи СИП, 03.20.1976 04-03-42.5, $\varphi = 50.04^\circ$, $\lambda = 77.321^\circ$, станция EKS.

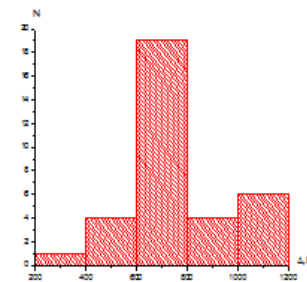


Рисунок 7. Распределение эпицентральных расстояний землетрясений вблизи СИП, сейсмограммы которых оцифрованы в 2010 г.

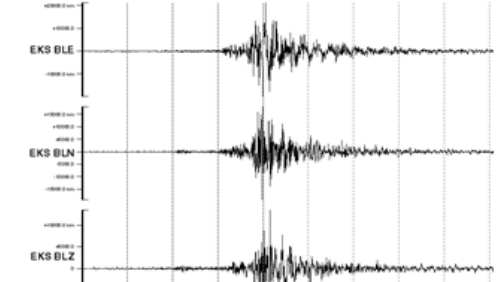


Рисунок 8. Пример оцифрованной сейсмограммы записи землетрясения вблизи СИП, 03.20.1976 04-03-42.5, $\varphi = 50.04^\circ$, $\lambda = 77.321^\circ$, станция EKS

Землетрясения вблизи полигона Чагай. Оцифровано 8 сейсмограмм 8 землетрясений вблизи ядерного полигона Чагай за 1980-1991 гг. Сейсмограммы зарегистрированы сейсмическими станциями: KURK (Курчатов), TLG (Талгар). Диапазон эпицентральных расстояний составляет 1 695 - 2 745 км. Диапазон магнитуд mb: 4.5 - 5.4.

Землетрясения вблизи полигона Похаран. Оцифровано 16 сейсмограмм 11 землетрясений вблизи ядерного полигона Похаран за 1966-1978 гг. Сейсмограммы зарегистрированы сейсмическими станциями: NRN (Нарын), KDSKG (Каджисай), TLG (Талгар). Диапазон эпицентральных расстояний составляет 1 360 - 1 755 км. Диапазон магнитуд mb: 4.5 - 5.1.

На рисунке 9 показано распределение оцифрованных записей землетрясений по полигонам.

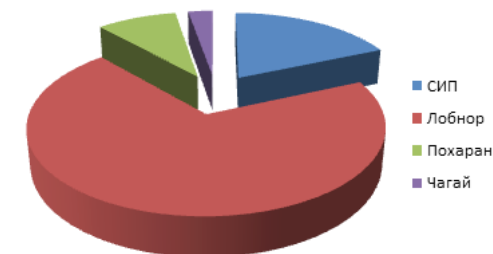


Рисунок 9. Распределение оцифрованных записей по испытательным полигонам

4. Краткая характеристика волновой картины записей сейсмических событий, близких к полигонам

Рассматриваемые события из районов, прилегающих к испытательным полигонам, условно можно разделить на 3 зоны: I – зона с эпицентрными расстояниями до 1000 км, II зона – от 1000 - 2000 км, III – зона с эпицентрными расстояниями от 2000 до 3500 км. При взрывах, производимых под землей, регистрируются те же продольные и поперечные волны, связанные со слоями в земной коре, которые наблюдаются на соответствующих эпицентральных расстояниях в данном районе и при мелкофокусных землетрясениях. Основные фазы, выделяемые на региональных расстояниях в районе Центральной Азии – это Pn(P), Pg, Sn и Lg [16]. Группы Sn и Pn сформированы соответственно поперечными и продольными волнами, проникающими в верхнюю мантию. Волны Lg и Pg образованы соответственно поперечными и продольными волнами, за пределами отраженными от границ земной коры.

На рисунке 10 приведены сейсмограммы из рассматриваемых районов для сейсмостанции Талгар. Верхняя из них – землетрясение вблизи СИП 12 декабря 1966 г., $\Delta = 709$ км. Четко выделяются фазы Pn, Sn, Lg. Вторая сейсмограмма - землетрясение вблизи полигона Лобнор 30 января 1999 г., $\Delta = 937$ км. Четко выделяются фазы Pn, Pg, Sn, Lg. Третья сейсмограмма – землетрясение вблизи индийского полигона Похаран 12 июля 1999 г., $\Delta = 1\ 620$ км, на ней выделяются фазы Pn, P, S, Lg. Нижняя сейсмограмма – землетрясение вблизи пакистанского полигона Чагай 2 октября 1984 г., $\Delta = 2\ 070$ км, выделяются фазы Pn, P, S, фазу Lg выделить очень сложно.

На рисунке 11 показаны те же сейсмограммы, отфильтрованные при помощи узкополосного фильтра с центральной частотой 1.25 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы. Из рисунка четко видны отличия между сейсмограммами для рассматриваемых районов. Анализ сейсмограмм показывает, что на региональных расстояниях на короткопериодных записях сейсмостанции Талгар для многих районов Евразии доминирует по интенсивности группа Lg. Такой тип волновых полей наблюдается в первую очередь для регионов, где среднее поглощение поперечных волн сравнительно слабое, такими регионами являются в первую очередь районы полигона Лобнор и СИП. Для района, прилегающего к полигону Чагай, короткопериодная группа Lg отсутствует. Из рисунка видно, что полигон СИП расположен в районе относительно слабого поглощения, трассы на сейсмостанцию также характеризуются пониженным поглощением. Отношение Lg/P для событий из этого района должно быть выше 1. Полигон Чагай расположен в области с повышенным поглощением, трассы от эпицентров на сейсмостанцию также проходят через области с сильным поглощением, например Гиндукуш, с этим связано отсутствие группы Lg на сейсмограммах для событий из этого района. Отношения Lg/P, S/P для этого района должно быть существенно ниже 1. Индийский испытательный полигон Похаран и Китайский полигон Лобнор находятся в районах промежуточного поглощения поперечных волн, трассы эпицентр - сейсмическая станция проходят также через области промежуточного и пониженного поглощения. Отношение Lg/P для этих районов должно быть около 1.

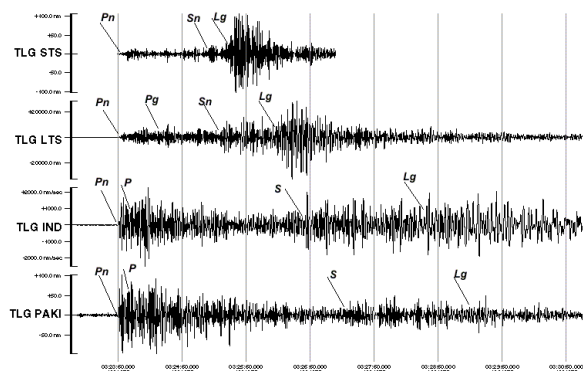


Рисунок 10. Сейсмограммы землетрясений, близких к испытательным полигонам. Сейсмостанция Талгар, фильтр СКМ, вертикальная компонента

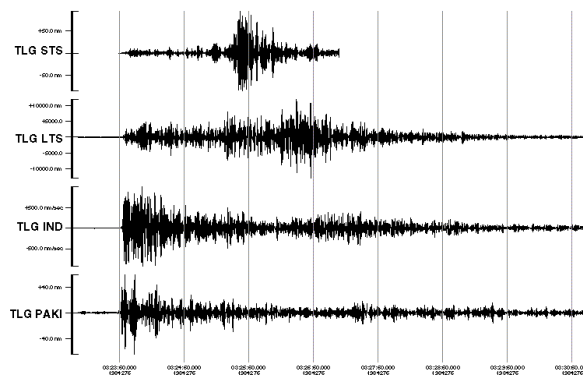


Рисунок 11. Сейсмограммы землетрясений, близких к испытательным полигонам. Сейсмостанция Талгар, фильтр 1.25 Гц, вертикальная компонента

5. Использование базы данных записей землетрясений для задач мониторинга

Полученная база данных записей землетрясений из районов испытательных полигонов Центральной и Южной Азии в настоящее время широко используется в ряде задач мониторинга.

1. Для уточнения параметров исторических землетрясений из районов полигонов.
2. Для построения фокальных механизмов очага.
3. Для изучения сейсмической опасности районов испытательных полигонов.
4. Для изучения геодинамических процессов, на территории полигонов, связанных с поствзрывными эффектами.
5. Для сейсмического распознавания ядерных взрывов и землетрясений.

Ниже приведен пример распознавания ПЯВ и землетрясений на СИП по станции Талгар, расположенной на северном Тянь-Шане.

По станции Талгар было обработано 133 события из района СИП с эпицентрными расстояниями от 502 до 1 065 км и магнитудами m_b 3.8 - 6.5, из них 9 землетрясений и 124 подземных ядерных взрыва. Проводились измерения максимума амплитуд по волновым фазам: Pn, Pg, Sn, Lg, а также замерялся максимум между Sn и Lg (Sm). Использовались фильтры с центральными частотами 0.6, 1.25, 2.5, 5 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы на уровне 3 Дб от максимума.

На рисунке 12 представлены основные результаты замеров отношений Sm/Pg на вертикальной компоненте. Разделение параметров наблюдается на частоте 5 Гц.

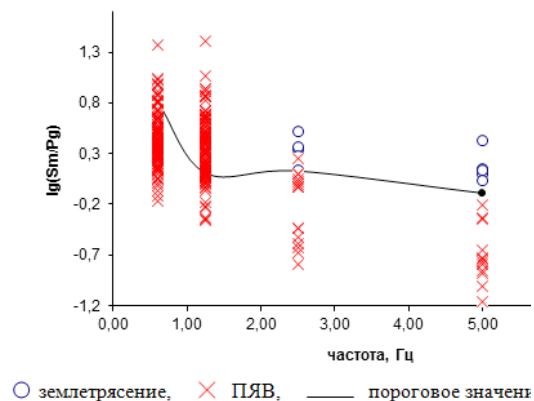


Рисунок 12. Распределение значений Sm/Pg для подземных ядерных взрывов и землетрясений, станция TLG, канал Z

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ геолого-тектонической характеристики районов, а также сейсмичности испытательных полигонов Лобнор, Семипалатинский испытательный полигон, Чагай и Похаран.
2. Из различных сейсмологических архивов Казахстана выбраны и оцифрованы около 300 аналоговых исторических сейсмограмм землетрясений. Создана база данных в формате CSS3.0, которая используется в настоящее время для различных задач ядерного мониторинга.
3. Проведен детальный анализ волновой картины записей землетрясений из районов ядерных полигонов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Русинова Л.А. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые территории Семипалатинского испытательного полигона. – Курчатова, НЯЦ РК, 1996.
2. Terry C. Wallace, Mark A. Tinker. The last nuclear weapons test? A brief review of the Chinese nuclear weapons program. – University of Arizona (USA), IRIS newsletter, vol. 2, 1996.

3. Волков А. Интернет-ресурс «Nuclear weapons» (www.nuclear-weapons.nm.ru).
4. Интернет-ресурс <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic>.
5. Mikhailov V.N. (editor) (1996), USSR Nuclear weapons tests and peaceful nuclear explosions, 1949 through 1990, RFNC-VNIIEF, Sarov, 96 p.
6. Халтурин В.И., Раутиан Т.Г., Ричардс П.Г. Химические взрывы периода 1961-1988 гг. на Семипалатинском испытательном полигоне. // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, вып.2, 2000, с.41-43.
7. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. М., 1977 г.
8. Карта сейсмического районирования СССР. Масштаб 1:5 000 000. Объяснительная записка. М.: Наука, 1984. С. 32.
9. Сейсмическое районирование Казахстана. Алма-Ата, Наука, 1979. с.140.
10. Землетрясения в СССР. М.: Наука. Ежегодные сборники за 1962-1991 гг.
11. Землетрясения Северной Евразии. Обнинск: ГС РАН. Ежегодные сборники за 1992-1998 гг.
12. V. Khalturin, T. Rautian, P. Richards A Study of Small Magnitude Seismic Events During 1961-1989 on and near the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan // Pure appl.geophys. 158 (2001) 143-171.
13. Морговская М.К., Неделков А.И., Султанова Г.С., Казаков Е.Н. Изучение локальной сейсмичности Семипалатинского испытательного полигона. // Вестник НЯЦ РК. 2006. Вып. 3. с.62-69.
14. NXSCAN. Manual. IRIS, 1992.
15. J. Anderson, W.E. Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual. / J. Anderson, W.E. Farrell et al. // Technical Report C90-01, Arlington. - 1990.
16. Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. (1964). Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра. В кн. Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР. Наука, Москва, 1964. с.63-87.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В ЯДЕРНОЙ СФЕРЕ КАЗАХСТАНА

Абен Д.А.

Казахстанский институт стратегических исследований РК, Алматы

Вопросы информационной и кибербезопасности выходят на первый план в контексте обеспечения международной и национальной безопасности. Росту их актуальности способствовало, прежде всего, беспрецедентное воздействие информационно-коммуникационных технологий на социально-политические процессы в современном мире, ярким свидетельством которого стала дестабилизационная волна протестов в странах Магриба и Ближнего Востока, начавшаяся весной 2011 года. Немаловажным аспектом проблемы является возросшая потребность государств в защите внутреннего информационного пространства от деструктивного влияния извне.

Кроме того, участвовавшие случаи кибератак против государственных структур, дипломатических ведомств, субъектов экономической деятельности и научно-исследовательских организаций разных стран подчеркивают назревшую необходимость в принятии усовершенствованных мер защиты информационной инфраструктуры и ресурсов от преступных посягательств и несанкционированного доступа. Так, в январе 2013 года Лаборатория Касперского выявила обширную сеть кибершпионажа под названием «Red October», которая на протяжении последних пяти лет проводила хакерские атаки против сотен организаций по всему миру с целью сбора секретной информации и иных представляющих стратегический интерес данных. Следует отметить, что в списке стран с наибольшим количеством зараженных упомянутой сетью компьютеров лидируют Россия и Казахстан.

В ядерной отрасли обеспечение информационной и кибербезопасности имеет особую значимость вследствие повышенной чувствительности данной сферы, а также потенциальных последствий негативного информационного воздействия и нарушений целостности информационных систем. В прошлом уже имели место атаки на компьютерные сети ядерных объектов ряда стран. К примеру, одной из причин задержки ввода в эксплуатацию иранской АЭС «Бушер» стало заражение компьютеров вирусом Stuxnet, а в ноябре 2012 года в результате взлома базы данных МАГАТЭ в открытый доступ попали сведения о более чем ста экспертах, сотрудничающих с агентством.

Казахстан ставит амбициозные цели по развитию своей атомной промышленности, в том числе планирует и строительство АЭС. В этой связи важнейшими задачами являются эффективная защита чувствительной информации и технологий, обеспечение надежности и устойчивости информационно-коммуникационных систем ядерной отрасли перед киберугрозами, а также соответствующее информационное сопровождение инициатив в данной области и своевременное реагирование на информационные атаки. В данном докладе рассматриваются основные риски и вызовы для информационной и кибербезопасности в ядерной сфере Казахстана.

Обеспечение информационной безопасности в ядерной сфере предполагает, прежде всего, предотвращение несанкционированного доступа со стороны ино-

странных государств и негосударственных субъектов к чувствительной информации, технологиям и экспертным знаниям, необходимым для получения или использования ядерных материалов в злонамеренных целях. Дальнейшее развитие атомной промышленности в Казахстане неминуемо приведет к увеличению количества объектов гражданской ядерной инфраструктуры и расширению круга лиц, имеющих доступ к закрытым сведениям и технологиям, что повышает вероятность утечки информации и подрывных действий. Более того, стремительное развитие информационных технологий приводит к отставанию теории и практики обеспечения безопасности от прогресса в сфере технологий.

Для снижения уязвимости ядерных объектов следует провести тщательный анализ существующих в Казахстане нормативных документов и процедур по защите ядерных материалов и установок и в случае необходимости усовершенствовать их с акцентом на надлежащую защиту информации. При этом атомное сообщество не должно замыкаться в себе, а вовлекать в процесс идентификации основных угроз информационной безопасности и поиска приемлемых способов противодействия им компетентных представителей научных кругов и правоохранительных структур. Для снижения инсайдерской угрозы, помимо ужесточения требований к подбору персонала и соблюдению им правил и процедур режима информационной безопасности, необходимо ограничить круг лиц, имеющих доступ к конфиденциальной информации, касающейся системы учета и контроля ядерных материалов, мер безопасности или защитных сооружений ядерного объекта. При этом необходимо по возможности исключить текучку кадров в соответствующих подразделениях из-за потенциальной угрозы, которую представляют бывшие сотрудники, знакомые с тонкостями организации системы безопасности.

Одним из критически важных вопросов, требующих повышенного внимания, является выбор информационно-коммуникационного оборудования и программного обеспечения для объектов ядерной инфраструктуры. Поскольку подобные системы в Казахстане не производятся, есть потенциальная опасность того, что оборудование и программы иностранного производства могут иметь изъяны и уязвимые места, позволяющие неавторизованным пользователям не только получать скрытый доступ к конфиденциальной информации, но и бесконтрольно манипулировать автоматизированными системами. Для предотвращения несанкционированного доступа и нарушения целостности информации необходимо тщательно проверять устанавливаемые на ядерных объектах информационные системы, в том числе посредством сертификации и аттестационных испытаний, а также внедрить комплекс организационных, правовых, технических и технологических мер по обеспечению адекватной защиты компьютерных сетей.

В плане несанкционированного вмешательства в работу ядерных объектов наибольшую угрозу представляют целенаправленные кибератаки против их информационно-коммуникационных сетей. Возникающие в результате сбои в работе компьютеризированных систем управления ядерных установок могут привести к катастрофическим авариям с самыми непредсказуемыми последствиями. Меры противодействия подобного рода угрозам должны включать в себя четкий регламент обработки конфиденциальной информации, строгий контроль за интернет-трафиком и использованием мобильных устройств и накопителей информации, вы-

явление внедренных программ, использование специальных технических средств защиты от утечек информации, применение усовершенствованных средств аутентификации пользователя и криптографической защиты данных, постоянное повышение квалификации и культуры информационной безопасности персонала.

Немаловажным аспектом информационной безопасности в ядерной сфере является работа с общественным мнением, чему в Казахстане уделяется мало внимания. Как показывает опыт, у населения страны довольно легко сформировать неблагоприятное отношение к инициативам в атомной отрасли, что объясняется высоким уровнем радиофобии среди жителей Казахстана и их низкой грамотностью в вопросах ядерной безопасности. В свое время активистам неправительственных и экологических движений удалось мобилизовать общественность против ввоза ядерных и радиоактивных отходов в Казахстан для переработки и захоронения. Такое же негативное освещение получили и инициативы по возвращению в хозяйственный оборот земель бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона и размещению в Казахстане международного банка ядерного топлива.

Подобные антиядерные кампании сформировали у большей части населения стойкое неприятие идеи внедрения ядерной энергетики в Казахстане, причем политические очки в ходе таких кампаний успешно набирают не только защитники окружающей среды, но и оппоненты действующей власти. Запоздалые усилия государственных органов и Национального ядерного центра по повышению осведомленности населения в вопросах радиационной безопасности и опровержению недостоверной информации оказались недостаточными.

Еще одним наглядным примером неудовлетворительной информационной политики государства в освещении вопросов, касающихся ядерной отрасли, может служить развернувшаяся в средствах массовой информации и интернете дискуссия на тему консолидации 100% акций канадской компании «Uranium One» российским урановым холдингом «Атомредметзолото». Освещение данной новости в негативном ключе закрепило в общественном сознании убеждение в том, что посредством данной сделки Россия получила полный контроль над казахстанским ураном, закрепив за атомной промышленностью Казахстана статус сырьевого придатка. Примечательно, что в отличие от аналогичных публикаций на тему экономической экспансии Китая, ответ на которые со стороны государственных органов следует незамедлительно, данную тему правительственные чиновники обошли молчанием. Несомненно, такая реакция не способствует рассеиванию слухов о значительном ущербе экономическим интересам Казахстана и существующем конфликте интересов у руководства атомной промышленности страны.

Как показывает опыт Германии и Японии, ядерная тематика может играть важную роль в общественно-политической жизни страны, в том числе влиять на исход избирательных кампаний. Существует потенциальная опасность, что в преддверии размещения в Казахстане международного банка ядерного топлива и в свете принятия политического решения о строительстве АЭС оппозиционно настроенные деятели будут активно использовать антиядерную риторику в своих политических целях. Это позволит им манипулировать общественным мнением и нагнетать напряженность, что в условиях неблагоприятной социально-экономической ситуации

в стране может создать благодатную почву для дальнейшего роста протестных настроений в обществе. Более того, в проведении кампаний по дискредитации правительственных инициатив в ядерной сфере могут быть задействованы заинтересованные внешние силы, что только усилит их деструктивное воздействие. Именно поэтому государству необходимо выработать внятную стратегию противодействия такой подрывной деятельности, которая все чаще проводится посредством социальных сетей и иных открытых сегментов интернета.

Проблема обеспечения информационной и кибербезопасности в мире с каждым годом обостряется, а по мере развития информационных технологий существующие национальные стандарты в данной сфере отстают от требуемых критериев безопасности и постоянно обновляющихся угроз из киберпространства. Обеспечение информационной и кибербезопасности в ядерной отрасли приобретает повышенное значение в силу ее специфики, поэтому для успешной реализации планов по развитию атомной промышленности Казахстану необходимо уделить серьезное внимание вопросам, связанным с эффективной защитой информации, внедрением надежных информационно-коммуникационных систем и работой с общественным мнением.

Важными элементами в обеспечении информационной безопасности в ядерной сфере должны стать подготовка высококвалифицированных специалистов по связям с общественностью, взаимодействие со средствами массовой информации и лидерами общественного мнения, регулярное и своевременное распространение объективной и доступной для понимания информации, а также регулярная информационно-просветительская работа с населением.

РАСЧЕТ НОРМАТИВОВ ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ ОБЪЕКТОВ РГП «ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ»

Артемова В.А., Глущенко В.Н., Севериненко М.А.,
Эдомская М.А., Мильц О.С., Левашов М.А.,
РГП Институт ядерной физики РК, г. Алматы

Для планирования и ведения воздухоохраных работ на предприятии необходимо устанавливать предельно-допустимые выбросы веществ в атмосферу. Согласно нормативной документации все расчеты проводятся с помощью программ автоматизированного расчета загрязнения атмосферы.

Все имеющиеся на казахстанском рынке автоматизированные программы предназначены для определения химического загрязнения, что затрудняет реализацию расчета распределения радиоактивных выбросов.

Целью работы является обоснование нормативов допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу от объектов Института ядерной физики, при которых дозовые нагрузки на персонал и население не превысят регламентируемые пределы.

Задачи: расчет значений допустимых выбросов радионуклидов, зонирование территории по степени и характеру негативного воздействия по пакету прикладных программ, оценка дозовых нагрузок на население.

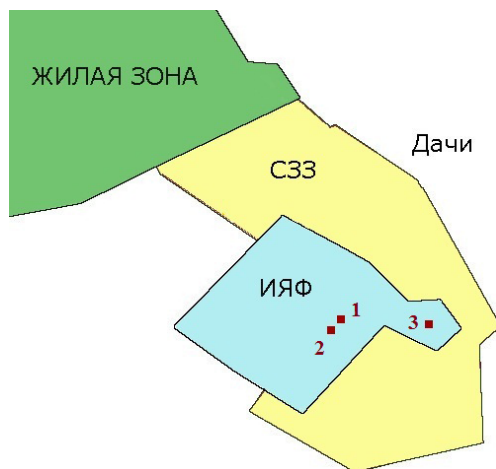


Рисунок 1. Источники радиоактивного загрязнения

Источниками радиоактивного загрязнения атмосферы ИЯФ являются:

1. исследовательский реактор типа ВВР-К;
2. корпус радиохимических лабораторий;
3. пункт захоронения радиоактивных отходов.

Расчет значений допустимых выбросов радионуклидов

Основным техническим объектом ИЯФ является исследовательский реактор типа ВВР-К, на котором проводятся исследовательские работы в различных направлениях фундаментальных и прикладных наук.

Здания реактора и РХК оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией с механическим и естественным побуждением. Воздух этих систем выбрасывается в трубу. Состав и количество выбрасываемых из реактора и РХК радионуклидов зависят от характера и вида исследовательских работ и очень изменчивы. Планировать изотопный состав и количества выбрасываемой активности из исследовательских реакторов и лабораторий практически невозможно.

Выбросы реактора подразделяются на 2 группы: газовые выбросы и аэрозольные ультрадисперсные. Газовые выбросы при работе реактора на мощности состоят на 90% из ^{41}Ar .

Суммарный выброс радиоактивных газов через выбросную трубу с учётом интенсивности выброса в сутки, энерговыработки реактора в год и реальной продолжительности его работы колеблется в пределах 4 400 - 11 100 ГБк (120-300) Ки в год.

Газовые выбросы из трубы РХК отсутствуют. Суммарный выброс радиоактивных аэрозолей составляет 18 МБк в год.

Вентиляция могильника включается только при вскрытии полостей при загрузке отходов (не более 10 часов в месяц), поэтому выброс радиоактивных аэрозолей через вентиляционную трубу могильника, по данным СРБ составляет 13,5 БК/год, что обуславливает ничтожную величину дозовых нагрузок даже в критической точке и при расчётах ПДВ не учитывается.

В таблице 1 представлены основные характеристики источников и фактические выбросы.

Таблица 1. Характеристики источников и фактические выбросы

Источник	Характеристики источников выбросов			Выброс, ГБк/год
	Высота источника выбросов, м	Диаметр устья трубы, м	Объем ГВС, м ³ /с	
Реактор	82	1,2	23,6	3 000-11 100
РХК	36	2,4	18,8	$18 \cdot 10^{-3}$
Могильник	33	0,2	0,015	$13,5 \cdot 10^{-9}$

ПДВ устанавливаются в соответствии с принятой методике оценке дозы как суммы монофакторных воздействий от каждого радионуклида и каждого источника выбросов.

Исходной формулой для определения предельно допустимого выброса радионуклида является формула:

$$\text{ПДВ} = 3,15 \times 10^{10} \text{Kr}^{\text{Pu}} \times \text{ДК}_n \text{ Ки/год}$$

где

$ДК_H$ – допустимая объемная активность радионуклида для населения с учетом всех факторов радиационного воздействия, Ки/л;

$Kp^{гpm}$ – коэффициент разбавления примеси в приземном слое атмосферы при реальной скорости ветра, м³/с.

В современном представлении (заменяв Ки на Бк и в $ДК_H$ (ДОА) л на м³), получим:

$$ДВ_i = 3,15 E + 7 \times Kp^{гpm} \times ДОА / 3 Бк / год$$

где

ДОА – допустимая объемная активность радионуклида для населения с учетом всех факторов радиационного воздействия, Бк/м³;

3 – коэффициент запаса по п. 1.2.8 ПДВ-83.

При нормативе в величинах эффективной дозы расчет ПДВ радионуклидов заключается в установлении зависимости между мощностью выброса источника и величиной эффективной дозы в критической точке местности от всех вытекающих факторов радиационного воздействия (внешнее проникающее излучение, ингаляция, поступление через пищу).

Эти величины можно связать через один параметр – наибольшую допустимую среднегодовую объемную активность радионуклида на местности с учетом всех факторов радиационного воздействия и установить мощность выброса радионуклида, обуславливающую годовую эффективную дозу менее допустимой 1 мЗв в год от данного источника выбросов.

Исходя из состава выбрасываемых нуклидов, расчёты проведены по группам нуклидов в зависимости от характера формирования дозовых нагрузок.

Для первой группы характерно формирование дозовых нагрузок только по внешнему облучению с учётом ингаляционного пути.

Миграция во внешней среде и пути загрязнения продуктов питания в случае выбросов трития имеют свои особенности и рассчитываются для трития в форме тритиевой воды НТО. Поэтому обоснование расчетов ДОА трития было выделено отдельно.

Расчитанные значения Допустимых Выбросов (ДВ_i), при условии выброса одного радионуклида из одного источника выбросов радиоактивных веществ в атмосферу сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Предельно-допустимые выбросы реактора и РХК

Код ЗВ	Радионуклид	Выбросы Реактора		Выбросы РХК	
		ДВ, Бк/год	ДВ, Ки/год	ДВ, Бк/год	ДВ, Ки/год
9001	Аргон- 41 (⁴¹ Ar)	4,4E+16	1,2E+06		
9002	Криптон-87 (⁸⁷ Kr)	1,0E+20	2,8E+09		
9003	Криптон-88 (⁸⁸ Kr)	2,0E+21	5,5E+10		
9004	Ксенон-133 (¹³³ Xe)	5,3E+21	1,4E+11		
9005	Ксенон-135 (¹³⁵ Xe)	4,1E+20	1,1E+10		

9006	Тритий (³ H)	1,2E+16	3,3E+05		
9007	Хром-51 (⁵¹ Cr)	2,4E+15	66000	3,6E+14	8900
9008	Кобальт-60 (⁶⁰ Co)	1,4E+11	3,7	2,0E+10	0,55
9009	Цинк-65 (⁶⁵ Zn)	1,8E+12	50	2,8E+11	7,5
9010	Стронций-90 (⁹⁰ Sr)	1,9E+11	5,1	2,8E+10	0,76
9011	Йод-131 (¹³¹ I)	1,8E+12	48	2,7E+11	7,3
9012	Цезий-134 (¹³⁴ Cs)	1,6E+11	4,4	2,5E+10	0,66
9013	Цезий-137 (¹³⁷ Cs)	1,6E+11	4,3	2,4E+10	0,65
9014	Сурьма-124 (¹²⁴ Sb)	5,6E+12	150	8,4E+11	23
9015	Иридий-192 (¹⁹² Ir)	9,6E+12	260	1,4E+12	39
9016	Кобальт-57 (⁵⁷ Co)	8,9E+10	2,4	6,2E+12	168
9017	Молибден-99 (⁹⁹ Mo)			7,6E+13	2040
9018	Таллий-201 (²⁰¹ Tl)			9,3E+14	25000
9019	Свинец-201 (²⁰¹ Pb)			9,0E+14	24000
9020	Свинец-202м (^{202m} Pb)			1,1E+15	27000
9021	Свинец-203 (²⁰³ Pb)			3,9E+14	11000

При выбросах нескольких радионуклидов V_i должно удовлетворяться условие:

$$\Sigma V_i / ДВ_i \text{ реактора} + \Sigma V_i / ДВ_i \text{ РХК} < 1$$

Сумма отношений активности фактически выбрасываемых радионуклидов к ПДВ каждого радионуклида не должна превышать единицу.

Распределение радиоактивного загрязнения

Расчёт распределения радионуклидов в приземном слое проведён с использованием программного комплекса Эколог. Расчет проводился на площадке с размером 3×3 км. Расчетными точками являлись: точка максимальной концентрации (533 м); на границе СЗЗ; на границе садово-огородных участков (650 м от источника выбросов); на границе жилой зоны п.Алатау.

Значения единиц измерений выбросов и ДОА заданы таким образом, чтобы в результатах распределения концентраций радиоактивного элемента значения были выведены не в долях ПДК, как это принято в программе, а в концентрациях Бк / м³. Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты расчета распределения концентраций вредных веществ

Код ЗВ	Наименование	Концентрация в расчетных точках			
		С макс	СЗЗ	Дачи	п. Алатау
9001	Ar-41	102,5E-3	101,65E-3	95,38E-3	78,29E-3
9004	Xe-135	10,25E-3	10,17E-3	9,54E-3	7,83E-3
9008	Co-60	109,06E-9	108,14E-9	101,46E-9	83,29E-9
9009	Zn-65	10,91E-9	10,81E-9	10,15E-9	8,33E-9

9011	J-131	1,8E-6	1,78E-6	1,67E-6	1,37E-6
9013	Cs-137	10,36E-9	10,27E-9	9,64E-9	7,91E-9
9014	Sb-124	3,6E-9	3,57E-9	3,35E-9	2,75E-9
9015	Ir-192	2,29E-9	2,27E-9	2,13E-9	1,75E-9

Фактор безопасности – мера приближения соотношения безопасности к своему верхнему пределу, равному единице, характеризующая благополучие населения и окружающей среды с точки зрения радиационного воздействия выбросов.

$$\eta = C / \text{ДОА},$$

где

η – фактор безопасности;
 C – расчетная среднегодовая объемная активность радионуклида в воздухе (Бк/м³);
 ДОА – допустимая объемная активность, учитывающая факторы, формирующие дозу облучения населения (Бк/м³).

Из формулы следует, что при значениях фактора безопасности, не превышающих единицы, объемная активность радионуклида в приземном слое атмосферного воздуха не превышает допустимого уровня, и не приведет к облучению любого лица из населения за любой год его жизни сверх установленного предела годовой дозы. Полученные при расчете значения выбросов, заявляются в качестве норматива ДВ.

Расчитанные значения фактора безопасности представлены в таблице 4.

Таблица 4. Значения фактора безопасности

Код ЗВ	Наименование	ДОА	$C_{\text{макс}}$	η
9001	Ar-41	490	102,5E-3	2,09E-04
9004	Xe-135	4,5E+6	10,25E-3	2,28E-09
9008	Co-60	0,0075	109,06E-9	1,45E-05
9009	Zn-65	0,1	10,91E-9	1,09E-07
9011	J-131	0,99	1,8E-6	1,82E-06
9013	Cs-137	0,0087	10,36E-9	1,19E-06
9014	Sb-124	0,31	3,6E-9	1,16E-08
9015	Ir-192	0,53	2,29E-9	4,32E-09

Расчетами показано, что критическая точка, где реализуется расчетное максимальное значение фактора безопасности, равное 0,0002, располагается на расстоянии 533 метров от источников выбросов.

Оценка дозовых нагрузок на население

Оценка дозовых нагрузок населения произведена путем сопоставления рассчитанных допустимых пределов радиационных параметров с результатами радиационного мониторинга.

При оценке доз на прилегающих территориях учитывается облучение по всем путям поступления радионуклидов в организм человека.

При расчёте доз на население в качестве критической группы приняты жители п.Алатау и проживающие в дачном массиве на границе санитарной зоны отдыхающие.

Использованные при оценке дозовых нагрузок результаты радиационного мониторинга, соответствующие величины фактора, пределы фактора и вытекающие дозовые нагрузки представлены в таблице 5.

Таблица 5. Оценка максимального радиационного воздействия РГП ИЯФ на критические группы лиц из населения

Фактор радиационного воздействия	Результаты измерений	Величина фактора, Бк/год	Предел по уровню 330 мкЗв/год	Обусловленная годовая доза, мкЗв	
Газовый выброс реактора	Объемная активность до 1,6E + 5 Бк/м ³	1,2E+10 ¹³ в том числе 1,1E+10 ¹³ ⁴¹ Ar, 1E+10 ¹² др. нуклиды	1,66E+16 1,04E+16	0,225 0,0042	
Аэрозольный выброс реактора	Объемная активность до 0,015 Бк/м ³ , в том числе (в Бк/м ³)	8,6E+6 в том числе	1,73E+13	8,5E-04	
	⁶⁰ Co	5,5E-4	3,2E+05	4,8E+11	2,2E-04
	⁶⁵ Zn	8,5E-5	5,0E+04	9,3E+11	1,8E-05
	¹³¹ I	1,4E-2	8,2E+06	5,6E+11	4,8E-04
	¹³⁷ Cs	8,0E-5	4,7E+04	1,1E+11	1,4E-04
	¹²⁴ Sb	2,8E-5	1,7E+04	5,6E+12	1,0E-06
	¹⁹² Ir	1,7E-5	1,0E+04	9,6E+12	3,6E-07
Общая доза, мкЗв / год					0,23

По результатам оценки можно заключить, что радиационное влияние ИЯФ на окружающее население менее 0,25 мкЗв в год, т.е. менее 0,025 % от предела техногенной дозы на население.

ВЫВОДЫ:

Разработанные значения Допустимых Выбросов радионуклидов рассчитаны как величины годового выброса радионуклида в атмосферу, обуславливающие получение критической группой лиц менее допустимой годовой эффективной дозы 1 мЗв от воздействия только *i*-го радионуклида с учетом всех факторов радиационного воздействия.

Расчётами показано, что критическая точка, где реализуется максимальное значение фактора безопасности, располагается на расстоянии 550 м от источников выбросов.

Максимальное влияние радиоактивных выбросов от объектов РГП «Институт ядерной физики» не превышает 0,025 % от предела дозы на население.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

Мильц О.С., Глущенко Г.М., Полешко А.Н., Перемитина Л.И.,
Артемова В.А., Севериненко М.А., Эдомская М.А.

Центр комплексных экологических исследований РГП ИЯФ РК,
г. Алматы

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время весьма актуальными являются работы по проблеме радиоактивных отходов и защиты окружающей среды. Они направлены на совершенствование методов обращения с радиоактивными отходами и повышения качества контроля радиационно-экологического состояния окружающей среды (ОС).

При эксплуатации ядерных установок (ЯУ) радиационная обстановка в районе размещения реактора формируется в основном суммарным выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду через вентиляционную трубу реактора. 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.

Основную роль в формировании газоаerosольных выбросов играют смесь радиоактивных инертных газов (ИРГ), долгоживущих аэрозолей и изотопов йода. В частности йод-131, который при аварийных ситуациях может составлять основу дозовой нагрузки, поскольку поступает в организм различными путями и накапливается в щитовидной железе. Поэтому для защиты ОС необходимы эффективные средства контроля содержания ^{131}I , благородных газов и других биологически опасных радионуклидов. Таким средством может служить гамма-спектрометрический анализ отобранных на фильтры проб воздуха.

Для обеспечения радиационной безопасности на ЯУ 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 ситуацию, когда длительное воздействие радиоактивных веществ на объекты окружающей среды в концентрациях, не превышающих нормативных значений, приведет к тому, что спустя какое-то время состояние ОС перестанет быть безопасным для человека.

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью своевременного выявления и прогноза нежелательных последствий влияния ЯУ на человека и 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.

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. Эффективность очистки газоаerosольных выбросов пока не доведена до совершенства, что обуславливает выход радионуклидов в окружающую среду.

Радионуклидный состав газоаerosольных выбросов и сбросов ядерных установок зависит от типа реакторов, их мощности и т.д., наиболее значимый вклад в формирование коллективной дозы на человека обуславливают такие радионуклиды, как ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^3H и ^{14}C . Поэтому для обеспечения радиационной безопасности и защиты окружающей среды необходимы эффективные средства контроля содержания данных радионуклидов в выбросах ядерной установки.

Для решения этой проблемы впервые проведены исследования по определению содержания ^{131}I ($T_{1/2} = 8,04$ сут.) в аэрозолях - спектрометрическим методом, с использованием внутреннего стандарта. Также проводится исследование по определению ^{14}C в атмосферном воздухе на территории ИЯФ и непосредственно в воздухе рабочей зоны реактора, получены новые данные о влиянии работы реактора на загрязнение атмосферы данным радионуклидом.

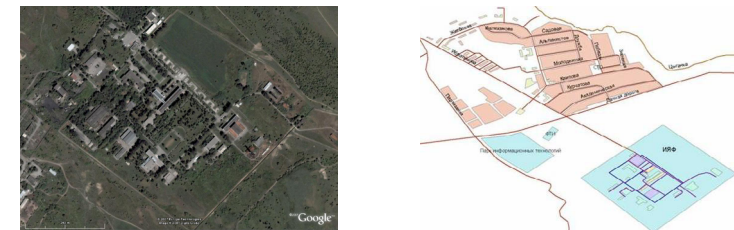
В основу исследований положены результаты изучения радиационной ситуации в зоне наблюдения реактора ВВР-К и данные по мониторингу атмосферного воздуха на территории Республики Казахстан после аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии в 2011 г.

Концентрации ^{131}I зафиксированы на уровне порядка $n \times 10^{-5}$ Бк/м³, его максимальная концентрация составила $1,6 \times 10^{-3} - 1,7 \times 10^{-3}$ Бк/м³. Концентрации ^{134}Cs и ^{137}Cs определены в пределах $n \times 10^{-4}$ Бк/м³, максимум объемной активности - $1,6 \times 10^{-4}$ Бк/м³.

Результаты анализа оседающих примесей подтвердили данные о наличии радионуклидов ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{14}C , ^3H в выбросах ядерной установки и позволили выбрать направление для практических исследований.

3. ЭТАПЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве опытного объекта выбран исследовательский ядерный реактор ВВР-К (водо-водяной реактор Казахстанский, мощностью 6 МВт), расположенный в пригороде г.Алматы на территории Института Ядерной Физики. Жилой массив п. Ала-



а) карта со спутника

б) карта-схема

Рисунок 1. Расположение РГП ИЯФ РК на территории п. Алау

тау расположен на расстоянии 1 км в северо-западном направлении и в том же направлении в 4 км находится п. Панфиловский. На расстоянии 650 м восточнее здания реактора и в 150 м от ограждения территории могильника расположены садово-огородные общества «Радуга» и «Мичуринец» (рисунок 1).

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. После очистки воздух выбрасывается в трубу высотой 82 м.

Для непрерывного радиационного контроля объемной активности выбросов через трубу исследовательского реактора ВВР-К проводится отбор проб воздушных примесей аспирационным методом, в качестве фильтра используется синтетическая фильтрующая ткань Петрянова (ФПП-15). Необходимый объем прокачиваемого воздуха рассчитывался, исходя из технических характеристик спектрометрического оборудования, и составил 70 м³/ч. В качестве пробоотборного устройства использовалась стационарная установка (рисунок 2), разработанная сотрудниками института ядерной физики, и расположенная в хвосте проекции факела трубы реактора. Продолжительность отбора пробы составляет семь дней, рабочая площадь фильтра - 225 см². Для стандартизации условий отбора проб время начала отбора устанавливается постоянное, в один и тот же день недели.



Рисунок 2. Отбор образцов на фильтр



Рисунок 3. Измерение образцов

Гамма-спектрометрические измерения отобранных образцов проводились в соответствии с методикой выполнения измерений МИ 5.06.001.98 РК на гамма-спектрометре колодезного типа «DeskTop InSpector» (0,1 – 3,0 МэВ), диаметр измерительных кювет равен 12 мм (рисунок 3). В качестве внутреннего стандарта был выбран и подготовлен образец на основе радионуклида ¹³³Ba (356,0 кэВ), линия ¹³¹I – 364,5 кэВ.

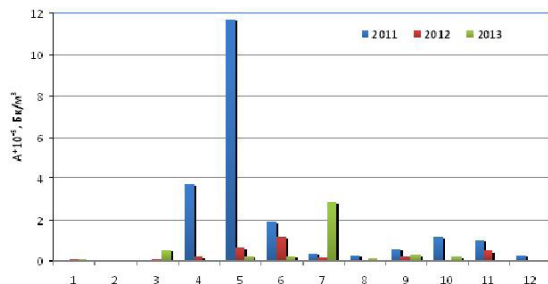


Рисунок 4. Распределение содержания I-131 в аэрозольных выбросах ВВР-К

Результаты недельного контроля анализируются и заносятся в базу данных для составления отчетов за месяц, год. По данным гамма-спектрометрического анализа был построен график радиоэкологического мониторинга за 2011-2013 г. (рисунок 4).

Начало исследований датируется 11 марта 2011 г., с того момента, когда в Японии в результате разрушительного землетрясения и вызвавшего им цунами произошла авария на АЭС «Фукусима-1». Для оценки влияния последствий от аварии на территории Республики Казахстан был организован мониторинг окружающей среды, включающий в себя отбор проб аэрозолей и проведение лабораторного анализа по определению концентрации техногенных радионуклидов. Было зафиксировано появление незначительных концентраций ¹³¹I.

Радиоэкологический мониторинг был продолжен и в июне 2012 г., а также в июле 2013 г. отмечены повышенные концентрации ¹³¹I, что объясняется работой реактора на мощности (поставка и дистилляция йода). Зафиксированные значения присутствующих радионуклидов не превышают уровни, установленные «Санитарно-эпидемиологическими требованиями к обеспечению радиационной безопасности» и считаются нормой при рабочем режиме реактора ВВР-К.

3. ВЫВОДЫ

Для разработки методики по определению ¹³¹I в аэрозолях гамма-спектрометрическим методом были впервые приготовлены спектрометрические образцы из фильтров больших размеров, с использованием внутреннего стандарта.

По результатам гамма-спектрометрического анализа проб атмосферных аэрозолей отмечено, что за весь период наблюдений фиксируемые концентрации ¹³¹I не превышают радиационного фона, характерного для данной местности, и значительно ниже допустимой объемной активности в воздухе для населения, которая составляет 7,3 Бк/м³.

Для обеспечения высокоточных результатов анализа проб продолжают экспериментальные исследования по разработке методики определения искусственных радионуклидов в аэрозолях гамма-спектрометрическим методом. На основании полученных результатов получены практические рекомендации к развитию системы радиационного мониторинга исследовательских ядерных установок в Казахстане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011г.] / под рук. С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2011. – с.319
2. Сапожников Ю.А. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – с.264
3. Коренков И.П., Кириллов В.Ф. Методы определения радиоактивных веществ в воздухе – М.: «Медицина», 1978. - с.30-38
4. Петрянов И.В., Козлов В.И., Басманов П.И., Огородников Б.И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП – М.: «Знание», 1968. – с.37

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ

Севериненко М.А., Абильмажинова Ж., Артемова В.А.

Институт Ядерной Физики РК,

Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби РК,
г. Алматы

Геологические науки на современном уровне развития представляют собой сложные системы эмпирических и аналитических знаний о системе взаимосвязей в окружающей среде. Методология оценки геоэкологического состояния территории и слагающих ее природных систем определяется совокупностью методов, развиваемых в геоэкологии.

В данной работе приведена попытка геоэкологической оценки на основе полуколичественных (бальных) методов, основывающихся на определении критериев значимости воздействия и критериев экологической оценки территорий. В качестве модельных объектов исследования приняты населенные пункты Азгир, Балкудук и Суяндук, находящиеся в непосредственной близости к полигону Азгир Мангистуской области. Ожидалось, что в результате проведенного исследования будет дана характеристика геоэкологического состояния объектов исследования и соотношение значения неблагоприятных факторов к критериям опасности территории, принятым в Республике Казахстан.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

К объектам геоэкологического исследования в данной работе относятся населенные пункты Азгир, Балкудук и Суяндук, находящиеся в непосредственной близости к полигону «Азгир». Полигон «Азгир», расположен в Курмангазинском районе Мангистауской области, известен как бывший испытательный полигон - место проведения ряда мирных подземных ядерных взрывов в исследовательских целях. Расположение полигона «Азгир» представлено на рисунке 1.

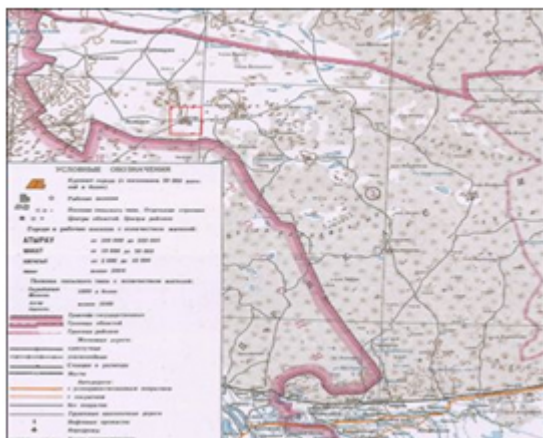


Рисунок 1. Географическое положение полигона «Азгир»

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологией исследования выбрана классификационная оценка воздействия химических и радиационных факторов на природную и социальную среду в выбранном регионе исследования на основе применения в совокупности двух методологий, реализующих матричные полуколичественные методы геоэкологической оценки территорий. Сравнение двух методологических подходов приведено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение методологических подходов

Регламентирующий нормативный документ	Применяемый методический подход
Методические указания по проведению оценки воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду, утвержденные приказом МООС РК от 29.10.2010 года № 270-п.	В указаниях предложен методический подход, базирующийся на определении трех параметров воздействия: пространственного, временного и интенсивности воздействия. Каждый из трех параметров оценивается по специальной шкале с применением критериев, разработанных для соответствующих градаций шкалы.
Критерии оценки экологической обстановки территорий, утвержденные Постановлением Правительства РК от 31.07.2007 года № 653.	В документе приводятся критерии оценки экологической обстановки территорий по совокупности показателей, характеризующих ухудшение состояния здоровья населения и окружающей среды. Используемые критерии используются при определении зоны чрезвычайной экологической ситуации или зоны экологического бедствия территорий по одному или нескольким основным и дополнительным показателям, отражающим более высокую степень неблагоприятной экологической обстановки.

Единой целью двух выбранных методических документов является установление величины неблагоприятного эффекта, возникающего в результате радиационной, химической и комплексной антропогенной нагрузки для загрязненных территорий с использованием полуколичественных методов оценки. Таким образом, применение двух названных методов позволит объективно оценить реальный уровень экологической опасности для населения, ее основные источники и характеризовать рассматриваемые территории по критериям геоэкологической опасности.

В основе исследований приняты ретроспективные и современные данные результатов радиоэкологических обследований и комплексному мониторингу, проводимому на территории полигона и прилегающих населенных пунктах силами сотрудников Института Ядерной Физики Республики Казахстан.

Общая схема проводимого исследования представлена на рисунке 2.

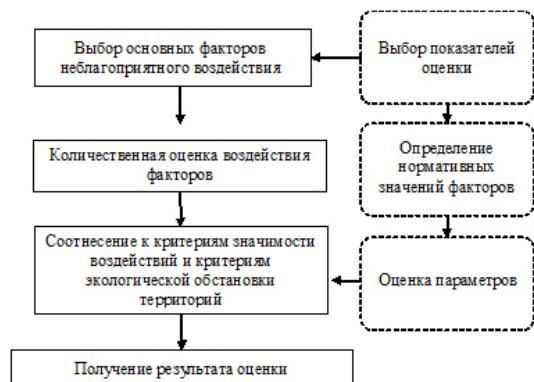


Рисунок 2. Общая схема геоэкологической оценки

Геоэкологическая оценка на основе критериев геоэкологической оценки территорий

Выбор критериев для геоэкологической оценки территорий обусловлен особенностью сложившейся геоэкологической обстановки в регионе. По данным результатов исследований территории населенных пунктов, находящихся в непосредственной близости от полигона «Азгир» за 2001-2012 гг, а также результатов комплексного радиоэкологического мониторинга, проводимого на этих территориях, известно, что в настоящее время опасность для населения представляет плохое качество подземных вод, используемых местным населением в хозяйственно-бытовых и питьевых целях. Выборка данных для геоэкологической оценки представлена в таблицах 2-5. Критерии геоэкологической оценки территории населенных пунктов Азгир, Балкудук и Суяндук представлены в таблице 6.

Таблица 2. Анионный состав и минерализация подземных вод

	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	Минерализация, мг/л
Среднее значение	753,5	10 378	16 508
ПДК	500	350	1 000

Таблица 3. Концентраций микроэлементов в подземных водах (скважина(С), колодец(К))

№	место	Содержание, мкг/л																
		Al	Cr	Zn	As	Sr	Cd	Ba	Hg	Pb	U**	Cs	Fe	V	Ni	Be	Co	Mn
1	С	<6.0	<1.5	<6.5	<2.5	1220	<1	131	<0.5	<1	<0.003	<0.1	1262	<1.5	3.38	<0.05	<0.5	128
2	С	56.2	<1.5	18.6	<2.5	9940	<1	26.2	<0.5	2.2	<0.003	3.28	13562	<1.5	14.8	<0.05	1.83	1230
3	С	34.0	9.05	19.7	<2.5	362	<1	49.9	<0.5	<1	<0.003	<0.1	155	<1.5	5.44	<0.05	<0.5	223
4	С	12.9	2.62	7.89	<2.5	382	<1	23.3	<0.5	<1	<0.003	<0.1	265	<1.5	6.45	<0.05	<0.5	649
5	С	16.3	6.02	<6.5	<2.5	1840	<1	18.3	<0.5	<1	<0.003	<0.1	34300	<1.5	21.2	<0.05	2.05	973
6	С	14.0	2.79	12.7	<2.5	2930	<1	6.28	<0.5	<1	0.031	<0.1	<12.5	<1.5	9.53	<0.05	<0.5	382

7	С	<6.0	<1.5	<6.5	4.11	1170	<1	64.9	<0.5	<1	<0.003	<0.1	<12.5	<1.5	4.66	<0.05	<0.5	161
8	С	<6.0	<1.5	<6.5	<2.5	24500	<1	56.9	<0.5	<1	<0.003	<0.1	<12.5	<1.5	20.4	<0.05	2.06	511
9	С	8.47	6.40	<6.5	<2.5	269	<1	5.56	<0.5	<1	<0.003	<0.1	<12.5	<1.5	<1	<0.05	<0.5	6.89
10	С	64.6	<1.5	29.4	<2.5	1530	<1	195	<0.5	<1	<0.003	<0.1	<12.5	<1.5	3.08	<0.05	<0.5	307
11	К	21.0	3.13	32.6	<2.5	1640	<1	198	<0.5	<1	0.52	<0.1	<12.5	<1.5	18.1	<0.05	3.83	118
12	К	<6.0	2.30	60.0	<2.5	859	<1	272	<0.5	<1	0.046	<0.1	<12.5	<1.5	5.17	<0.05	<0.5	148
13	К	61.1	12.9	24.7	<2.5	667	<1	205	<0.5	<1	0.135	<0.1	<12.5	<1.5	5.14	<0.05	<0.5	34.1
14	К	114	2.83	18.2	<2.5	1300	<1	137	<0.5	<1	0.231	<0.1	<12.5	<1.5	17.0	<0.05	3.41	1040
15	К	30.5	<1.5	37.5	<2.5	831	<1	320	<0.5	<1	0.573	<0.1	<12.5	<1.5	8.43	<0.05	3.80	95.2
ПДК		500	50	5000	50	7000	1.0	100	0.5	30	3.1		300	100	100	0.2	100	100

Таблица 4. Уровни мощности дозы гамма излучения (МЭД) и уровней эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе жилых помещений (ЭРОА Rn-222) населенных пунктов Азгир, Балкудук и Суяндук

Диапазон значений	МЭД, мкЗВ/ч	ЭРОА Rn-222, Бк/м ³
п. Азгир		
минимум	0,05	1,0
максимум	0,11	249
среднее	0,07	65
п. Балкудук		
минимум	0,05	10
максимум	0,09	221
среднее	0,07	76
нормативное	2,5	200-310
п. Суяндук		
минимум	0,05	28
максимум	0,08	233
среднее	0,1	122
нормативное/фоновое	2,5	200-310

Таблица 5. Основные результаты исследования радионуклидного состава подземных вод-источников водоснабжения

Место отбора	Cs-137, Бк/л	Sr-90, мБк/л	Pu-239+340, мБк/л	H-3, Бк/л
скважина	< 0.007	< 12.1	< 0.34	<5
скважина	< 0.007	17.4	< 0.20	<5
скважина	< 0.007	< 12.1	< 0.19	<6
скважина	< 0.007	< 12.5	нет	<5
скважина	< 0.007	< 17.7	< 0.30	<5
скважина	0.009± 0.004	< 19.1	< 0.23	<5
скважина	< 0.007	< 14.0	< 0.28	<5
скважина	< 0.009	< 17.0	< 0.23	<6

скважина	< 0.005	21.6 ± 10.3	< 0.24	<6
скважина	< 0.006	22.3 ± 9.2	< 0.25	<6
колодец	< 0.007	< 13.8	0,43 ± 0.21	<5
колодец	< 0.007	< 17.3	< 0.27	<5
колодец	< 0.007	< 18.3	< 0.30	<5
колодец	< 0.007	< 15.0	< 0.30	7±4
колодец	< 0.006	< 18.1	< 0.26	<5
Нормируемый уровень вмешательства (УВ)	11	5000	560	7700

Таблица 6. Критерии геоэкологической оценки территории населенных пунктов Азгир, Балкудук и Суюндук

№ п/п	Показатель	Параметр		Относительно удовлетворительная ситуация
		экологическое бедствие	чрезвычайная эко.ситуация	
1	2	3	4	5
Критерии геоэкологической оценки по химическим показателям				
1. Почвы				
1.3	Превышение ПДК химических веществ:			
	1-го класс опасности	Более 3	3 - 2	До 2
	2-го класса опасности;	Более 10	10 - 5	До 5
	3-го класса опасности	Более 25	25 - 10	До 10
2. Источники водоснабжения				
2.1	Содержание токсических веществ первого класса опасности	>3	2 - 3	В пределах гигиенических нормативов (ПДК)
2.2	Содержание токсичных веществ второго класса опасности	>10	5 - 10	В пределах гигиенических нормативов (ПДК)
2.3	Содержание токсичных веществ третьего и четвертого классов опасности	>15	10 - 15	В пределах гигиенических нормативов
2.4	Общая минерализация (сухой остаток, мг/л)	>5000	5000 - 1000	<1000
Критерии геоэкологической оценки по радиационным показателям				
1.Почвы				
1.1	Показатель загрязнения радиоактивными веществами (МЭД), мЗв	более 50	5 - 50	1 - 5
	ЭРОАРn-222, Бк/м3	Любое значение выше нормативного уровня	200-310	
2. Источники водоснабжения				

2.1	Содержание радиоактивных веществ техногенного происхождения	Любое значение выше уровня вмешательства	Уровень вмешательства (УВ)
3. Индивидуальная дозиметрия			
3.1	Эффективная доза, мЗв	Любое значение выше нормативного уровня	Для населения установлен предел дозы в 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год.

Анализ полученных результатов из таблицы 2 показывает, что в соответствии с критериями экологической оценки, территории поселков Азгир, Балкудук и Суюндук могут быть отнесены к зоне экологического бедствия и чрезвычайной экологической ситуации по ряду показателей качества питьевой воды. Это связано с повышенными в более чем в 10 раз ПДК содержанием микроэлементов 1, 2 и 3 классов опасности (железо, барий, марганец), а также высокой минерализацией и повышенным анионным составом. Радиационных факторов воздействия на окружающую среду не отмечается. Исследуемые радиационные показатели оценки находятся ниже нормируемых пределов и на фоновом уровне для исследуемого региона.

Геоэкологическая оценка на основе критериев значимости воздействий на природную и социальную среду

Значимость воздействия, являющаяся результирующим показателем оцениваемого воздействия на конкретный компонент природной среды и оценивается по следующим параметрам: пространственный масштаб; временной масштаб; интенсивность. Сопоставление значений значимости воздействия по каждому параметру оценивается по бальной системе по разработанным критериям.

Значимость воздействия является по сути комплексной (интегральной) оценкой. Определение значимости воздействия проводится в несколько этапов.

Этап 1. Для определения значимости воздействия на отдельные компоненты природной среды используются таблицы с критериями воздействий (таблицы 4-10).

Балл значимости воздействия определяется на основе табличных баллов критериев воздействий по формуле:

$$O_{integer}^i = Q_i^t \times Q_i^s \times Q_i^i$$

где:

- $O_{integer}^i$ – комплексный оценочный балл для рассматриваемого воздействия;
- Q_i^t – балл временного воздействия на i-й компонент природной среды;
- Q_i^s – балл пространственного воздействия на i-й компонент природной среды;
- Q_i^i – балл интенсивности воздействия на i-й компонент природной среды.

Этап 2. Категория значимости определяется интервалом значений в зависимости от балла. Категории значимости являются единообразными для различных компонентов природной среды и могут быть сопоставимыми для определения компонента природной среды, который будет испытывать наиболее сильные воздействия.

Шкалы оценки геоэкологической оценки населенных пунктов Азгир, Балкудук и Суяндук представлены в таблицах 7-11.

Таблица 7. Шкала оценки пространственного масштаба (площади) воздействия

Градация	Пространственные границы воздействия* (км ² или км)	Балл
Локальное воздействие	площадь воздействия до 1 км ²	1
Ограниченное воздействие	площадь воздействия до 10 км ²	2
Местное воздействие	площадь воздействия от 10 до 100 км ²	3
Региональное воздействие	площадь воздействия более 100 км ²	4

Таблица 8. Шкала оценки временного масштаба воздействия

Градация	Временной масштаб воздействия*	Балл
Кратковременное воздействие	Воздействие наблюдается до 6 месяцев	1
Воздействие средней продолжительности	Воздействие отмечаются в период от 6 месяцев до 1 года	2
Продолжительное воздействие	Воздействия отмечаются в период от 1 до 3 лет	3
Многолетнее (постоянное) воздействие	Воздействия отмечаются в период от 3 лет и более	4

Таблица 9. Шкала величины интенсивности воздействия

Градация	Описание интенсивности воздействия	Балл
Незначительное воздействие	Изменения в природной среде не превышают существующие пределы природной изменчивости	1
Слабое воздействие	Изменения в природной среде превышают пределы природной изменчивости, Природная среда полностью самовосстанавливается.	2
Умеренное воздействие	Изменения в природной среде, превышающие пределы природной изменчивости, приводят к нарушению отдельных компонентов природной среды. Природная среда сохраняет способность к самовосстановлению	3
Сильное воздействие	Изменения в природной среде приводят к значительным нарушениям компонентов природной среды и/или экосистемы. Отдельные компоненты природной среды теряют способность к самовосстановлению (это утверждение не относится к атмосферному воздуху)	4

Таблица 10. Критерии определения балльности интенсивности воздействия на природную среду, соответствующие особенностям антропогенного воздействия в пос. Азгир, Балкудук и Суяндук

Объекты	Критерии	Интенсивность воздействия в баллах			
		1	2	3	4
Подземные воды	Хим.загрязнение подземных вод	Содерж. всех ЗВ ≤ 1.0 ПДК и /или фона (1 фон.конц-ия)	Содержание всех ЗВ 1-5 ПДК и /или фона	Содерж. всех ЗВ 5-20 ПДК и /или фона	Содерж. всех ЗВ >20 ПДК и /или фона (20 фон. конц-ии)

Почвы	Превышение ПДК других загрязняющих веществ (опасности): I класса II класса III класса	<1.0	1-2	2.1-3	>3
		<1.0	1-5	5.1-10	>10
		<1.0	1-10	10.1-20	>20
Физические факторы воздействия					
	Ионизирующее излучение (эффективная доза) для населения	1 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв/год	20 мЗв/год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв/год	До 100 мЗв/год	До 200 мЗв/год

Таблица 11. Определение категории значимости воздействий на природную среду

Категории воздействия, балл			Категории значимости	
Пространственный масштаб	Временной масштаб	Интенсивность	баллы	Значимость
Локальное 1	Кратковременное 1	Незначительное 1	1-8	Воздействие низкой значимости
Ограниченное 2	Средней продолжительности 2	Слабое 2		
Местное 3	Продолжительное 3	Умеренное 3	9-27	Воздействие средней значимости
Региональное 4	Многолетнее 4	Сильное 4	28-64	Воздействие высокой значимости

Результирующая оценка воздействия на природную среду по критериям значимости воздействия на природную среду может быть характеризована как: средней значимости, умеренное, многолетнее, региональное. Характеризуется способностью природной среды к самовосстановлению. Изменения в природной среде приводят к нарушению отдельных компонентов природной среды.

В результате проведенного исследования, можно сделать следующие выводы:

Применение полуколичественных методов в геоэкологической оценке территорий позволяет классифицировать территории по степени значимости экологического воздействия, а также определить зоны чрезвычайной экологической ситуации или зоны экологического бедствия территорий по одному или нескольким основным и дополнительным показателям, отражающим более высокую степень неблагоприятной экологической обстановки.

Однако такая оценка не может удовлетворять абсолютной точности результатов исследования и требует дополнительного рассмотрения, принимая во внимание специфику загрязнения и характеристику использования территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по проведению оценки воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду, утвержденные приказом МООС РК от 29.10.2010 года № 270-п.
2. Критерии оценки экологической обстановки территорий, утвержденные Постановлением Правительства Республики Казахстан от 31.07.2007 г. № 653.
3. Исследование влияния полигона «Азгир» на экологическое состояние подземных вод: отчет о НИР (промежуточный) / ДГП ИЯФ НЯЦ РК; *рук. Тулеушев А.Ж.* – Алматы, 2009;
4. «Проведение научных исследований по комплексному обследованию территории военно-испытательных полигонов и прилегающих к нему регионов для выяснения их экологического состояния (Азгир)» / ДГП ИЯФ НЯЦ РК; *рук. Кадыржанов К.К.* – Алматы, 2005;
5. Исследование влияния полигона «Азгир» на экологическое состояние подземных вод : отчет о НИР (заключительный) / ДГП ИЯФ НЯЦ РК; *рук. Батырбеков Э.Г.* – Алматы, 2011.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БОЛЬШИХ УДЕЛЬНЫХ АКТИВНОСТЕЙ ^{239}Pu В ПОЧВАХ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

Эдомская М.А., Желтов Д.А., Быченко А.Н., Рязанова Л.А., Мильц О.С., Глуценко Г.М., Матиенко Л.Д., Гусева Н.В.
РГП Институт ядерной физики РК, г. Алматы

Среди многих радиоэкологических проблем важное место занимают задачи исследований радиоактивного загрязнения природных сред трансурановыми элементами. Среди трансурановых элементов плутоний – один из самых опасных загрязнителей окружающей среды [1, 2]. Содержание плутония (изотопы с массовыми числами 239 и 240) в объектах окружающей среды является важнейшим индикатором техногенного радиоактивного загрязнения.

Прямые измерения альфа-активности изотопов плутония с поверхности почвы не селективны и не обеспечивают необходимого уровня контроля за актиноидными загрязнениями. Измерения в процессе перемещения детектора (на тележке, в автомобиле и т.п.) дают усредненную по исследуемому участку величину альфа-загрязненности, не выявляя состав загрязнения и его структуру.

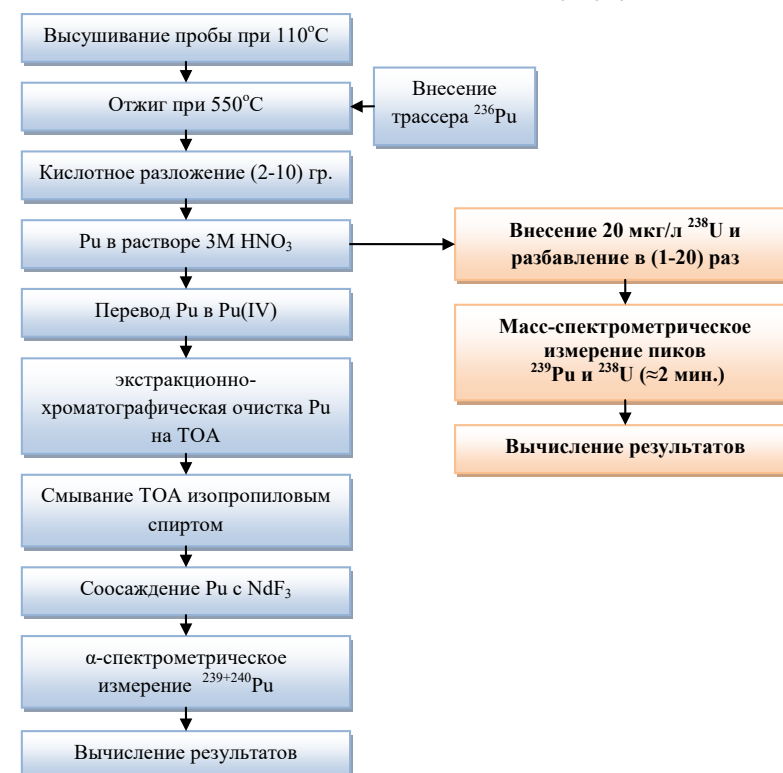


Рисунок 1. Функциональная схема определения плутония в почве с использованием α-спектрометрии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой

Количественное определение плутония в объектах окружающей среды требует, как правило, его извлечения из вытяжек, получаемых кислотной обработкой почв, донных осадков и биологических материалов. Чаще всего, приходится иметь дело с азотнокислыми растворами в широком диапазоне концентраций.

Несмотря на то, что имеющаяся радиохимическая методика [3], функциональная схема которой приведена на рисунке 1 (левая часть) обеспечивает приемлемую точность анализа содержания плутония-(239+240) в объектах окружающей среды, ее трудоемкость (измерение одной пробы может продолжаться 3-4 дня) и стоимость анализа, использование дорогостоящего трассера плутония-236, а так же высокие требования к квалификации персонала ограничивают масштабность ее применения для радиоэкологических исследований. Кроме того, методика [3] устанавливает слишком узкий диапазон измерения содержания плутония-(239+240) в почве от 0,1 до 10 Бк/кг, хотя в ряде случаев требуется обследование сильно загрязненных территорий с удельной активностью плутония в почвогрунтах от сотен до миллионов Бк/кг почвы. В последнем случае требуется значительное разбавление элюатов плутония, получаемых по методике [3], что не всегда удобно.

Также, в функциональной схеме методики (рисунок 1) можно выделить несколько проблемных стадий, на которых вероятны потери аналита по двум основным причинам: результат влияния человеческого фактора и/или низкого уровня контроля над процессом, которые при получении одного результата измерения (ввиду трудоемкости и затратности процедуры методики) могут привести к грубым ошибкам или неприемлемо большим погрешностям результатов измерений. К указанным стадиям можно отнести перевод плутония в четырехвалентное состояние, неполнота которого может привести к потерям плутония на стадии его экстракционно-хроматографической очистки, а также соосаждение плутония со фторидом неодима, в результате которого может быть сформирован источник некондиционной толщины, что, в свою очередь, значительно влияет на правильность альфа-спектрометрических измерений.

Очевидно, что для осуществления масштабных исследований сильно загрязненных территорий/объектов требуется экспрессная методика прямого измерения плутония-239 в кислотной вытяжке, не требующая трассера плутония и не отягощенная стадиями кондиционирования, очистки плутония, формирования альфа-спектрометрического источника, обладающая сниженными трудоемкостью, затратностью, высокими чувствительностью и точностью. Учитывая большой период полураспада ^{239}Pu (24 110 лет) эту задачу можно решить масс-спектрометрическими методами, например, с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС ИСП).

Цель представляемой работы – разработка методической схемы определения плутония-239 в кислотных вытяжках почв с масс-спектрометрическим окончанием. Для выполнения работ использован квадрупольный масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ELAN 9000 производства PerkinElmer SCIEX с диапазоном измеряемых масс от 2 а.е.м. до 270 а.е.м. Выполнены экспериментальные работы по выбору оптимальных инструментальных параметров масс-спектрометра. Критериями выбора являлись максимальные чувствительность и экспрессность измерений. В результате были выбраны следующие параметры:

- мощность, подводимая к плазме: 1300 Вт;
- оптимальное время измерения: (60 – 120) с;
- поток газа распылителя: от (0,9 – 1,0) л/мин;

Проба для прямого масс-спектрометрического измерения плутония представляет собой азотнокислый раствор с большим содержанием (единицы и десятки граммов на литр) и вариабельностью остатков матрицы почвы, представленной в основном «высококарковыми» элементами: кремний, железо, кальций, магний, алюминий и др. Очевидно, что в виду специфичности метода МС ИСП, такая матрица будет оказывать значительное матричное влияние (занижение) на масс-спектрометрическое измерение плутония-239. Для устранения влияния матрицы ее необходимо разрушать, либо отделять от определяемого компонента, что внесет дополнительные стадии в процедуру анализа, поэтому наиболее приемлемый способ – это коррекция результата измерения плутония-239 введением матричного коэффициента.

В настоящей работе для коррекции матричного занижения аналитического сигнала плутония-239 и определения чувствительности масс-спектрометра на массе 239 использован известный в аналитической практике метод внутренней стандартизации. Применительно к масс-спектрометрии для этого выбирают изотоп элемента, претерпевающего максимально сходное с определяемым элементом матричное влияние. В данной работе использован уран-238, являющийся наилучшим внутренним стандартом при измерении плутония-239 ввиду близости его атомной массы и значения 1-го потенциала ионизации [4] к тем же характеристикам у урана-238.

В настоящей работе к исследуемым образцам (кислотные вытяжки почв, полученные по методике [3]) добавили уран-238 из расчета 20 мкг/л и выполняли «парные» измерения: пробы без добавки урана-238 и пробы с добавкой урана-238. Результат измерения содержания плутония-239 в кислотной вытяжке почвы C_{Pu} вычисляли по формуле (в нг/л):

$$C_{Pu} = \frac{I_{239} \cdot C_U}{I_{238}^d - I_{238}} \quad (1)$$

где:

- I_{239} – измеренная интенсивность ионного сигнала на массе 239 в растворе пробы кислотной вытяжки почвы за вычетом фона, имп./с;
- I_{238}^d – измеренная интенсивность ионного сигнала на массе 238 в растворе пробы кислотной вытяжки почвы с добавкой урана-238 за вычетом фона, имп./с;
- I_{238} – измеренная интенсивность ионного сигнала на массе 238 в растворе пробы кислотной вытяжки почвы без добавки урана-238 за вычетом фона, имп./с;
- C_U – массовая концентрация добавки урана-238, нг/л.

В соответствии с описанной процедурой (рисунок 1, правая часть) выполнено определение содержания плутония в 27 пробах почвы Семипалатинского испытательного полигона, результаты представлены в таблице 1. Разложение проб (3 г) выполнено по методике [3], полученные результаты сравнивались с результатами альфа-измерений плутония-(239+240), пересчитанными на массовую концентрацию плутония-239 в кислотной вытяжке почвы, используя принятое среднее изотопное отношение плутония-239 к плутонию 240 равное 20,1 [5].

Результаты таблицы 1 демонстрирует удовлетворительную сходимость результатов измерения плутония-239, полученных методами альфа-спектрометрии и масс-спектрометрии, однако результаты альфа-измерений по некоторым пробам показывают сильное занижение по сравнению с масс-спектрометрическими данными, что можно объяснить потерями плутония и косвенно подтверждает вышесказанное предположение о низкой «устойчивости» методики [3] в отношении грубых ошибок или получения результатов измерений с неприемлемо большой погрешностью.

Оценка предела надежного определения Pu-239 (6с-критерий) в растворе кислотной вытяжки почвы составила ~0,2 нг/л, что в пересчете на навеску почвы 10 г при 100 мл кислотной вытяжки составит ~4 Бк/кг.

Разработанная методическая схема используется для экспресс-анализа загрязненных проб почв Семипалатинского полигона, сортировки проб почвы и для «арбитражного» анализа при получении сомнительных альфа-спектрометрических результатов и позволяет получить результат измерения содержания в 1 пробе почвы за 1-1,5 рабочих дня, что минимум в 2 раза быстрее, чем по методике [3]. Методическая схема не требует применения дорогостоящего трассера плутоний-236 и, ввиду процедурной простоты, обеспечивает получение результатов измерений без грубых ошибок или с неприемлемо большой погрешностью. Время масс-спектрометрического измерения 2 проб не более 4 минут, время альфа-спектрометрического измерения по методике [3] не менее 6 часов, ввиду малой величины добавки трассера плутоний-236 в анализируемую пробу.

Приведенная в настоящей работе методическая схема может также использоваться для определения плутония в донных отложениях, а после соответствующей коррекции стадии разложения пробы и для определения плутония в любых биологических объектах животного или растительного происхождения.

Предлагаемая методическая схема после внесения в реестр ГСИ РК в виде метрологически аттестованной методики выполнения измерений может стать полноценным элементом радиоэкологически ориентированных программ.

Таблица 2. Результаты измерения содержания Pu-239 в кислотных вытяжках почв Семипалатинского полигона методами масс-спектрометрии и альфа-спектрометрии

№	Код пробы	Pu-239, (МС ИСП)		Pu-239, нг/л (α-измерение)		отн. раз-ница, приведенная к значению по α-изм., %
		нг/л	Бк/кг	нг/л	Бк/кг	
1	1627	2070±166	158326±12666	2200±572	168300±13464	-5,93
2	1638	229±18	17504±1400	111±29	8492±679	106
3	1639	304±24	46474±3718	82±21	12546±1004	270
4	1640	1045±84	79955±6396	1142±297	87363±6989	-8,48
5	1641	833±67	63705±5096	598±155	45747±3660	39,3
6	1642	4732±379	361966±28957	4470±1162	341955±27356	5,85
7	1644	979±78	149750±11980	706±184	108018±8641	38,6

8	1645	427±34	32672±2614	424±110	32436±2595	0,73
9	1646	896±72	68548±5484	956±249	73134±5851	-6,27
10	1646	816±65	62457±4997	956±249	73134±5851	-14,6
11	1647	196±16	14987±1199	136±35	10404±832	44,1
12	1648	75±6	5763±461	82±21	6273±502	-8,12
13	1650	1473±118	112722±9018	1157±301	88511±7081	27,4
14	1650	1408±113	107700±8616	1157±301	88511±7081	21,7
15	1652	794±63	60709±4857	441±115	33737±2699	80,0
16	1655	479±38	36616±2929	96±25	7344±588	399
17	1656	511±41	39072±3126	498±129	38097±3048	2,56
18	1657	595±48	91035±7283	841±219	128673±10294	-29,3
19	1658	1733±139	132595±10608	719±187	55004±4400	141
20	1660	1048±84	80208±6417	168±44	12852±1028	524
21	1661	1903±152	145576±11646	1783±464	136400±10912	6,73
22	1662	1783±143	136378±10910	1509±392	115439±9235	18,1
23	1663	454±36	69521±5562	470±122	71910±5753	-3,32
24	1666	679±54	51925±4154	307±80	23486±1879	121
25	1667	385±31	29460±2357	469±122	35879±2870	-17,9
26	1671	121±10	9291±743	151±39	11552±924	-19,6
27	1674	337±27	25791±2063	76±20	5814±465	344

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Yu-Fu Yu, Salbu B., Bjoernstad H.E. // J. Radioanal. Nucl. Chem. Art. 1991. 148. p. 163.
2. Delle Site A., Marchionni V., Testa C. // Anal. Chim. Acta. 1980. 117. p. 217.
3. Методика определения содержания искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в объектах окружающей среды (почвах, грунтах, донных отложениях и растениях). Зарегистрирована в реестре ГСИ РК № KZ 07.00.01239-2010 от 01.12.2010 г.
4. Радциг А.А., Смирнов Б.М., Параметры атомов и ионов: Справочник, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1986. 344 с.
5. S.N. Lukashenko, N.G. Kiyatkina, G.N. Chumikov, N.M. Berdinova, D.A. Zheltov Determination of ²³⁹Pu / ²⁴⁰Pu ratio in Semipalatinsk testing site soil by ICP-MS. // The fifth Eurasian conference nuclear science, 14-17 October 2008, Ankara, Turkey.

ВНЕДРЕНИЕ И ОТРАБОТКА МЕТОДИК В АЛЬФА-СПЕКТРОМЕТРИИ

Юндин А.Д.

ТОО «МАЗК-Казатомпром» РК, г. Алматы

ВВЕДЕНИЕ

Жидкие радиоактивные отходы реакторных установок представляют собой растворы различной степени минерализации, загрязненные продуктами деления, радионуклидами коррозионного происхождения, различными веществами, используемыми для дезактивации оборудования.

Нас интересует определение ^{241}Am , $^{239-240}\text{Pu}$, ^{238}U , 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}U .

Для определения радионуклидного состава ЖРО РУ БН-350 был отобран 1 образец ЖРО РУ БН-350. Для проведения лабораторного анализа радионуклидного состава ЖРО использовались аттестованные методики.

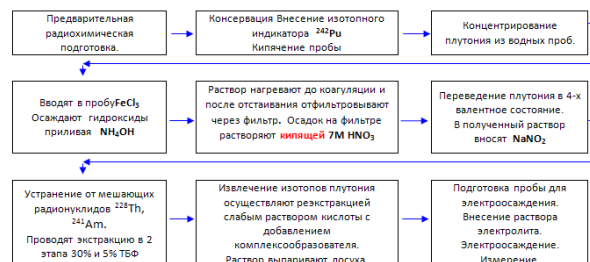
Содержание альфа-излучающих радионуклидов определялось с помощью альфа-спектрометра. Используется оборудование Альфа-спектрометр полупроводниковый «МУЛЬТИРАД-АС» фирмы «Амплитуда».

Определение содержания изотопов Am, Pu, U, проводилось альфа-спектрометрическим методом с предварительной радиохимической очисткой образца.

Схема радиохимической подготовки

- Перевод всех компонентов анализируемой пробы в жидкое состояние.
- Экстракция элемента (U, Pu, Am) в органическую фазу (с использованием ТБФ), - происходит избавление от других радиоактивных изотопов.
- Реэкстракция элемента из органической фазы в водный раствор.
- Электролитическое осаждение элемента на подложку.

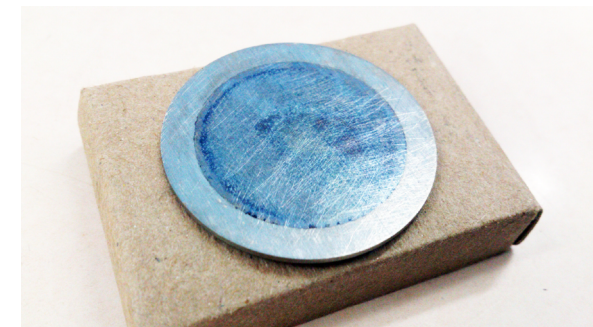
Блок-схема проведения радиохимического приготовления счётного образца изотопов плутония из проб воды



Выделение изотопов плутония из проб воды.

- Сущность метода заключается в измерении альфа-спектра счётного образца, содержащего изотопы плутония, селективно выделенные из проб воды с использованием радиохимических приёмов.
- Методика основана на том, что атомные ядра изотопов плутония при радиоактивном распаде испускают альфа-частицы строго определённых энергий, что позволяет по энергии и интенсивности излучения идентифицировать эти изотопы и определять активность в исследуемой пробе на основе известной активности предварительно введённого в пробу изотопного индикатора ^{242}Pu .
- Метод предусматривает предварительную подготовку проб, который заключается в концентрировании изотопов плутония из водной пробы на гидроксиде железа, отделении от носителя и мешающих радионуклидов при экстракции органическими соединениями.
- Концентрирование плутония из водных проб осуществляют соосаждением с гидроксидом железа. Полученный азотнокислый раствор содержит изотопы плутония, сконцентрированные в меньшем объёме.
- Перевод плутония в 4-х валентное состояние.
- Устранение от мешающих радионуклидов с близкими энергиями альфа-частиц ^{228}Th , ^{241}Am производится при радиохимическом выделении. Для эффективного отделения тория экстракцию изотопов плутония проводят из раствора 5% раствором ТБФ в толуоле. Когда весь торий остаётся в водной фазе, а плутоний переходит в органическую. Для предотвращения извлечения урана вместе с плутонием перед реэкстракцией концентрацию ТБФ доводят до 30%.
- Реэкстракцию плутония осуществляют слабым раствором кислоты с добавлением комплексообразователя. Все нуклиды плутония в процессе радиохимической подготовки ведут себя одинаково и выделяются одновременно.
- Приготовление тонкослойных счётных образцов выполняется методом электроосаждения.

Наиболее часто используемыми методиками нанесения образца являются его электролитическое осаждение. Затем образец помещается в вакуумированную камеру, и проводится измерение образца в течение заранее установленного интервала времени. В случае низкого уровня активности получение надежных результатов часто

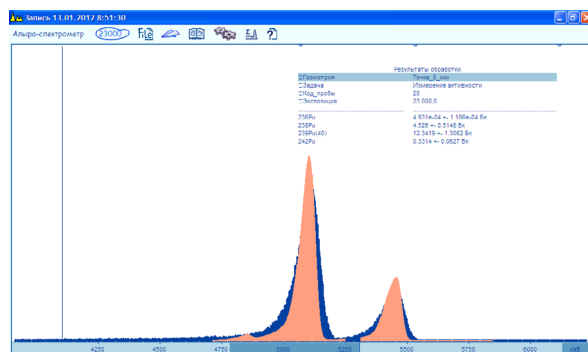


Приготовленный счётный образец на подложке из нержавеющей стали с площадью активного пятна 5 см²

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.



Пример спектра плутония



ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ АНИОНИТОВ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ УРАНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ ПВ

Адельбаев И.Е., Шокобаев Н.М.

ТОО «Институт Высоких Технологий» РК, г. Алматы

На сегодняшний день рынок ионообменных смол представлен различными фирмами-производителями, которые имеют широкий ассортимент сорбентов. Подбор сорбентов является важнейшим аспектом гидрометаллургической переработки урансодержащего сырья, во многом определяющим производительность и экономические показатели работы участков переработки продуктивных растворов.

Одним из направлений деятельности ТОО «ИВТ» является исследование технологических характеристик ионообменных смол с целью подбора оптимального сорбента для обеспечения максимальной производительности добычных предприятий АО НАК «Казатомпром».

За 2003-2006 гг. в ТОО «ИВТ» были апробированы различные методики тестирования технологических свойств смол, на основе которых разработана и утверждена «Инструкция апробирования анионообменных смол и Технические требования к анионообменным смолам». Был составлен каталог протестированных смол, в который были включены физико-механические, сорбционно-десорбционные характеристики исследованных сорбентов.

Также специалистами ТОО «ИВТ» в 2012 году были разработаны методики входного контроля и порядка приема и отбора проб для входного контроля получаемых анионообменных сорбентов, что обусловлено случаями приобретения и получения анионообменных смол, несоответствующих требованиям, предъявляемым к данному материалу.

В 2012 году специалистами ТОО «ИВТ» были протестированы 11 сорбентов различных марок при одинаковых условиях. В таблице 1 приведен перечень протестированных смол и их основные свойства. Состав использованного продуктивного раствора: урана – 0,224 г/дм³; pH – 2,10; нитратов – 0,364 г/дм³; железа – 0,602 г/ дм³.

Анионообменные смолы перед использованием оставляют на 12 часов в 5 % растворе серной кислоты для вымывания ионов хлора. По истечению срока отмывали дистиллированной водой до pH = 5-6.

Таблица 1. Список смол и их основные свойства

Ионит	Функц. группы	Структура	Размер гранул, мм (в воздушно-сухом состоянии)	Степень однородности, %	Мех. прочность %
Purofine PFA 460/4783 SO ₄	Четвертичный аммоний	Высокоосновный гелевый анионит	0,52-0,57	99	99
Purofine PFA 600/4740 SO ₄	Четвертичный аммоний	Сильноосновный гелевый анионит	0,52-0,57	99	99

Purofine A 500/2788 SO ₄	Четвертичный аммоний	Макропористый сильноосновной анионит	0,8-1,3	95	99
Purofine A 500/4994 SO ₄	Четвертичный аммоний	Макропористый сильноосновной анионит	0,7-1,2	96	99
CYBBERUSX 500T	Четвертичный аммоний	Макропористый сильноосновной анионит	0,63-1,4	98	99
АМП	Четвертичный аммоний	Гелевый анионит	0,8-2,0	98	99
АМ-п	Четвертичный аммоний	Макропористый анионит	0,8-2,5	99	99
АМ-2Б	Четвертичный аммоний	Макропористый анионит	0,8-2,5	99	99
АМ	Четвертичный аммоний	Гелевый анионит	0,8-2,0	99	99
Ambersep 920 USO ₄	Четвертичный аммоний	Макропористый сильноосновной анионит	0,75-0,95	98	99
EU 700 U	Четвертичный аммоний	Высокоосновный макропористый анионит	0,75-0,95	91	99

Анализ проводили на уран в растворе и смоле. Для определения урана в растворе использовали титано-фосфатно-ванадатный метод анализа – МВИ ГРК – 38 – 2010; в смоле «Инструкция по определению урана в смоле, ферро-фосфатным-ванадатным методом»). Весовые измерения выполнялись на лабораторных аналитических весах Mettler Toledo ML54.

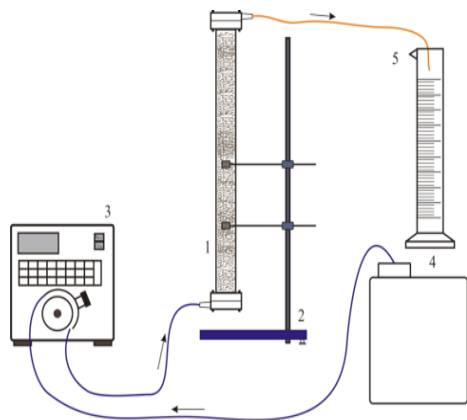


Рисунок 1. Лабораторная установка

Для исследования процессов сорбции и десорбции в динамических условиях предварительно замоченный и переведенный в необходимую форму ионит помещали в

колонки (20 мм × 150 мм), выполненные из оргстекла (рисунок 1), и пропускал через зажатый объем сорбента (1) исследуемый раствор (4) до полного насыщения сорбента по урану. Подача раствора осуществлялась перистальтическим насосом (3) с обеспечением постоянного расхода жидкости при удельной нагрузке 9 и 1 уд.об / уд.об. / час на операциях сорбции и десорбции соответственно. Сорбцию продолжали до того времени, когда концентрация урана в растворе на выходе из колонки приблизилась к его концентрации в исходном растворе. Маточные растворы (5) фракционно отбирались на анализ. По окончании сорбции сорбент извлекали из колонок, промывали водой до pH 5-6, отделяли от раствора фильтрованием через бумажный фильтр и анализировали на содержание урана. Все эксперименты проводились при комнатной температуре (25±1°C).

Выходные кривые сорбции урана приведены на рисунке 2.

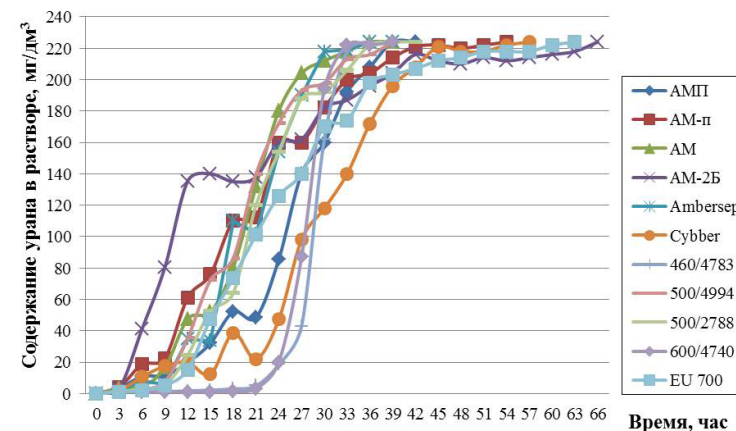


Рисунок 2. Выходные кривые сорбции урана

По возрастанию емкости насыщения, сорбенты можно расположить в следующий ряд:

Purofine PFA 460/4783 SO₄ < Purofine PFA 600/4740 SO₄ < Purolite A 500/2788 SO₄ < CYBBERUSX 500T < АМП < Ambersep 920 < Purolite A 500/4994 SO₄ < EU 600 < АМ-п < АМ-2Б < АМ

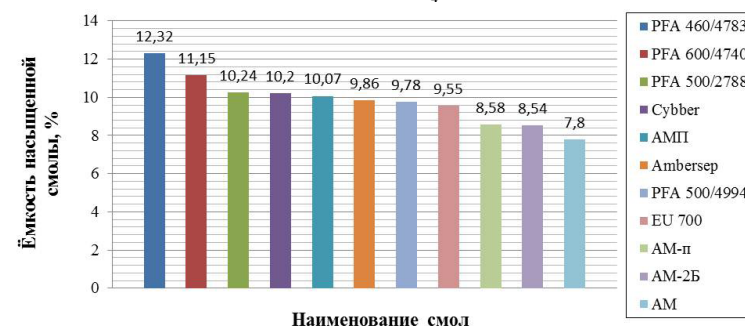


Рисунок 3. Содержание урана в насыщенных смолах

На рисунке 3 представлена гистограмма, отражающая емкости насыщенных по урану сорбентов. Как видно из рисунка, при сорбции урана все смолы достигли высокого насыщения, но при разной продолжительности процесса.

На десорбцию урана направляли насыщенный сорбент из колонок при достижении в них ПДОЕ. Насыщенные смолы были отдесорбированы раствором следующего состава: NH_4NO_3 80 г/дм³, H_2SO_4 25 г/дм³. Десорбция проводилась на лабораторной установке показанной выше (рисунок 1). На выходе из колонки через каждый 1 час отбирали пробы раствора, которые анализировали на содержание урана. По окончании десорбции колонку разгружали, сорбент промывали дистиллированной водой до pH = 5 - 6. Затем определяли содержание урана в сорбенте. По экспериментальным данным построили выходные кривые десорбции.

Выходные кривые десорбции урана приведены на рисунке 4.

В таблице 2 представлены полученные значения по десорбции сорбента.

Таблица 2. Полученные значения по десорбции сорбента

№ п/п	Наименование сорбента	t дес., час	Vp / Vc	Степень десорбции, %	Аост U, %	Средняя СУ в ТД, г/л
1	Ambersep 920 SO ₄	10	10	99,9	0,008	3,5
2	AM	10	10	99,9	0,008	3,9
3	AM-2Б	10	10	99,9	0,009	3,3
4	Purolite A 500/2788 SO ₄	10	10	99,5	0,005	2,4
5	АМП	10	10	99,5	0,05	4,1
6	Cybber USX 500T SO ₄	10	10	99,2	0,08	5,0
7	AM-п	10	10	99,0	0,08	3,8
8	EU 700 U SO ₄	10	10	99,0	0,09	5,3
9	Purofine PFA 600/4740 SO ₄	10	10	98,8	0,12	4,0
10	Purofine PFA 460/4783 SO ₄	10	10	98,8	0,14	5,1
11	Purolite A 500/4994 SO ₄	10	10	98,2	0,17	2,8

Результаты исследования десорбции показали, что степень десорбции для всех исследуемых сорбентов удовлетворительная.

По возрастанию степени десорбции сорбентов, их можно расположить в следующий ряд:

Ambersep 920 SO₄ < AM < AM-2Б < Purolite A 500/2788 SO₄ < АМП <
 < CYBBER USX 500T < AM-п < EU 700 U SO₄ < Purofine PFA 600/4740 SO₄ <
 < Purofine PFA 460/4783 SO₄ < Purolite A 500/4994 SO₄

Таким образом, результаты испытаний показывают, что все исследуемые образцы обладают высокими физико-механическими и емкостными характеристиками сорбционно-десорбционных процессов. Оценивая полученные результаты сорбции можно отметить, что все сорбенты достигли высокой емкости, но при разной продолжительности процесса. Степень десорбции для всех исследуемых сорбентов удовлетворительная. Для большинства сорбентов степень десорбции состав-

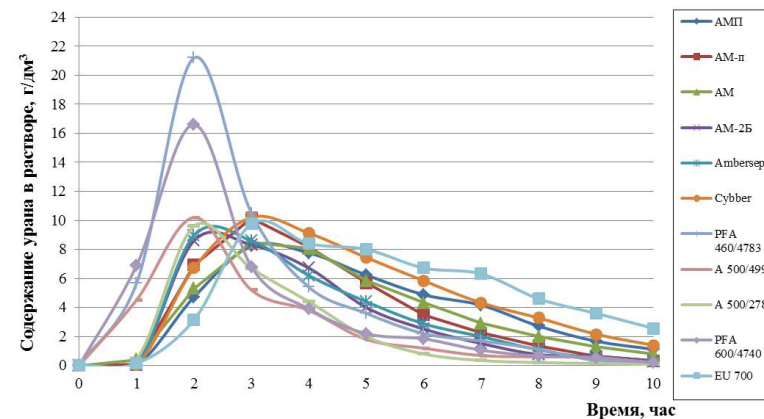


Рисунок 4. Выходные кривые десорбции урана

ляет выше 99,0 % за исключением сорбентов марки Purolite. Остаточная емкость у всех сорбентов не превышает регламентированных значений.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПОЧКИ РЕГЕНЕРАЦИИ С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ НОРМ РАСХОДА ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ И ЛИКВИДАЦИЯ «ПРОСКОКА» Me В МАТОЧНИКАХ СОРБЦИИ В УСЛОВИЯХ ТОО «РУ-6»

Байназаров Ж.

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

ВВЕДЕНИЕ

ТОО «РУ-6» является одним из уранодобывающих предприятий Казахстана, которое занимается добычей урана уже 30 лет.

Описание технологической схемы перерабатывающего комплекса

Добыча урана ведется сернокислотным способом из рудных тел на месте их залегания с получением продуктивных урансодержащих растворов.

Добытые продуктивные растворы перекачиваются на перерабатывающий комплекс:

- перед сорбционной переработкой продуктивные растворы проходят стадию осветления в отстойниках при объёме 1 200 м³;
- далее осветлённые продуктивные растворы из отстойников подаются на сорбционное извлечение урана;
- сорбционное извлечение урана из продуктивных растворов производится в колоннах типа СНК-3М;
- далее насыщенный сорбент проходит стадию отмывки и донасыщения;
- затем донасыщенный сорбент проходит стадию десорбции в колоннах типа ДНК-2. десорбция урана ведется нитратными растворами;
- после десорбции сорбент проходит стадию денитрации, промывки ионита и возвращается на стадию сорбции;
- после стадии десорбции товарный регенерат поступает в каскад осаждения.
- осаждение урана производится каустической содой;
- осаждённая пульпа фильтруется на фильтр – прессах, после чего загружается в ТУК-118 и отправляется на дальнейшую переработку на завод - переработчик.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С каждым годом объём добываемых ПР растёт. В таблице ниже представлены данные по добыче ПР за 2008-2013 года:

Таблица 1. Содержание твёрдых взвесей в ПР в 2012-2013 гг.

Наименование	янв.12	фев.12	мар.12	апр.12	май.12	июн.12	июл.12	авг.12	сен.12	окт.12	ноя.12	дек.12	янв.13	фев.13	мар.13	апр.13	май.13	июн.13	июл.13	авг.13
Содержание твёрдых взвесей в ПР, г/л	0,035	0,045	0,088	0,067	0,023	0,030	0,030	0,008	0,018	0,027	0,074	0,150	0,03	0,025	0,041	0,041	0,035	0,04	0,037	0,035

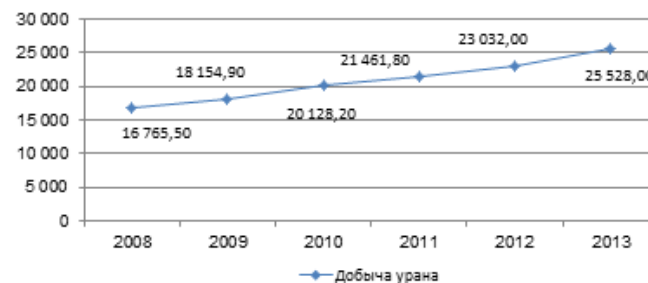


График 1. Динамика добычи ПР в период 2008-2013 гг.



График 2. Содержание твёрдых взвесей в ПР в 2012-2013 гг.

Как видно из приведенных данных с увеличением количества добываемых ПР приход твёрдых взвесей с продуктивными растворами на УППР растёт из года в год, при неизменной отмывке на УППР, а именно в цепочке регенерации, идет накопление песка. Накопление песка привело к частому зависанию колонн, что наряду с фактором наличия песка привело к ухудшению контакта ионит-раствор и ухудшению процесса регенерации смолы и ряду проблем:

1) возросло остаточное содержание Me в отрегенированной смоле до 3 г/л.



График 3. Остаточное содержание Me на смоле после регенерации

Увеличение содержания металла в отрегенированной смоле привело к преждевременным проскокам Me в маточниках сорбции, проскоки возросли с 1 мг/л до 2,2 мг/л, что ведет к ухудшению процесса сорбции, снижению коэффициента извлечения Me из ПР.

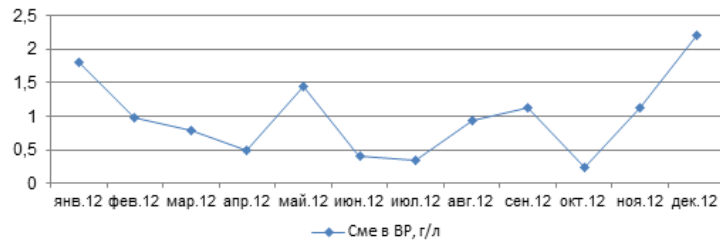


График 4. Динамика «проскока» Me в маточниках сорбции в 2012 г.

2) возрос расход аммиачной селитры до 3,11 кг/кгU и каустика до 1,06 кг/кгU.

Наличие песка и илов в цепочке регенерации привело к зависанию смолы в колоннах регенерации, и неэффективной работе регенерирующих растворов и реагентов в частности. При неэффективной работе десорбирующего раствора, возросло остаточное содержание на смоле после десорбции, для снижения которого требуется больший расход нитратов.

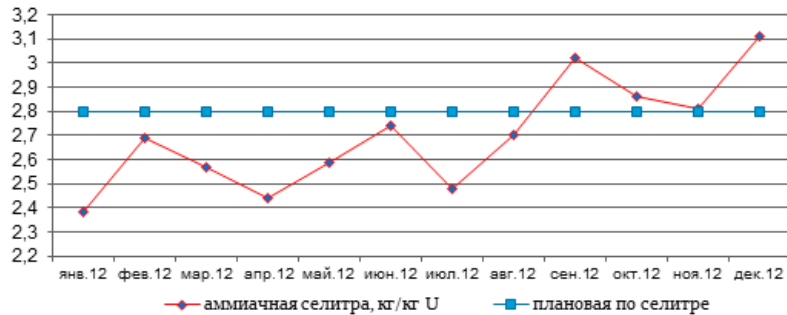


График 5. Отклонение от удельной нормы расхода аммиачной селитры

При увеличении остаточного содержания Me на смоле после десорбции возрос расход денитрирующего реагента для съема Me денитрирующими растворами. Повышенный расход денитрирующего раствора привел к повышению кислотности товарного десорбата, вследствие чего, увеличился расход каустической соды.

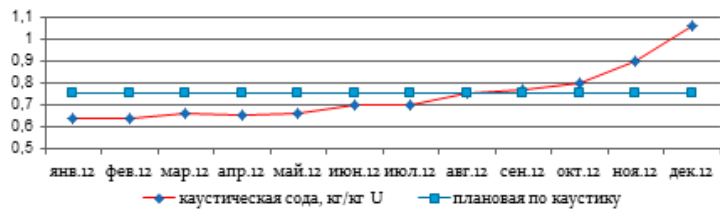


График 6. Отклонение от удельной нормы каустической соды

В результате анализа работы УППР было принято решение принять меры по интенсификации очистки цепочки регенерации от песка и илов.

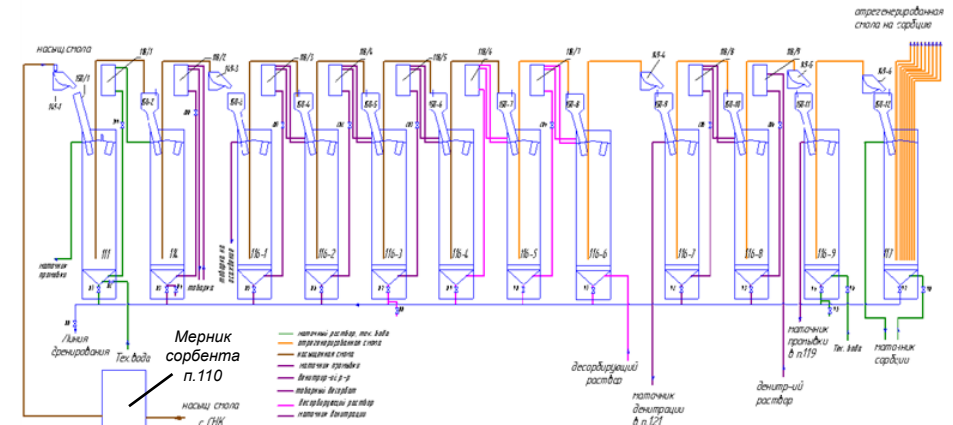


Рисунок 1. Технологическая схема до усовершенствования

Принятые меры по очистке цепочки регенерации

Насыщенная смола, отгруженная с колонн СНК подаётся в цепочку регенерации (рисунок 1), а именно через отмывочное сито поз.149/1 в колонну отмывки (поз.111), где снизу колонны подаётся тех.вода и происходила отмывка смолы. После чего, отмытая смола подаётся в колонну донасыщения (поз.114), после смола поступает в цепочку десорбции, денитрации и хвостовой отмывки.

При такой системе отмывки песок и илы отмывались не полностью и проходили дальше в цепочку регенерации где происходило их накопление и нарушался процесс регенерации.

Первая принятая мера состоит в монтаже дугового сита с конусом отстойником с линией дренирования над колонной донасыщения (рисунок 2).

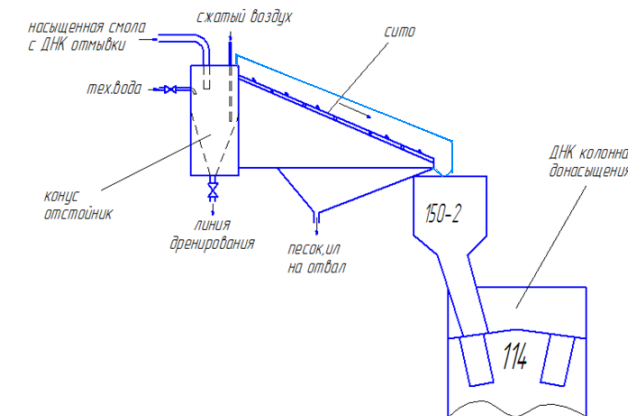


Рисунок 2. Схема установленного дугового сита над колонной донасыщения

Насыщенная смола с колонны отмывки поступает в конус отстойник, где тяжёлые частицы песка оседают в конусе, который по мере наполнения дренируют.

С конуса-отстойника смола проходит по наклонной плоскости н/ст сетки, где также происходит отделение песка. Обратные растворы с песком направлены в отстойник оборотных растворов.

Вторая принятая мера состоит в монтаже линии эрлифта с колонны отмывки на отмывочное сито над этой колонной по принципу «сам на сам», при этом смола повторно подаётся на отмывочное сито, тем самым отмываясь повторно несколько раз.

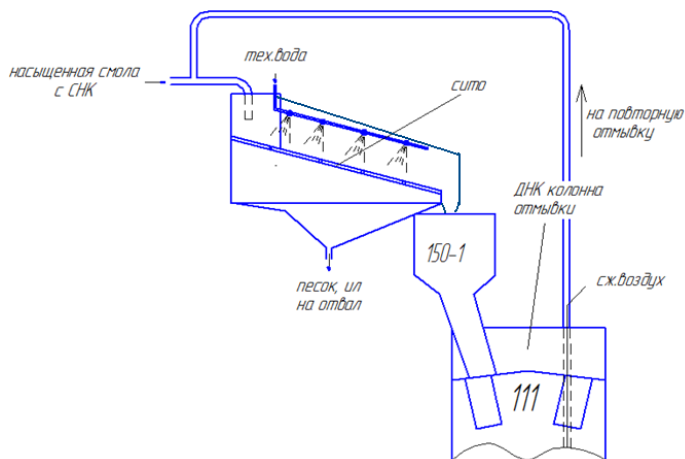


Рисунок 3. Монтаж линии повторной отмывки «сам на сам»

Также было установлено отмывочное сито с механизированной системой подачи влаги (рисунок 4) на линии отгрузки колонн СНК, где проходит интенсивная отмывка смолы от песка и илов, накопленных в процессе сорбции, таким образом мы стали отмывать песок до регенерации, исключив попадание и накопление последнего.

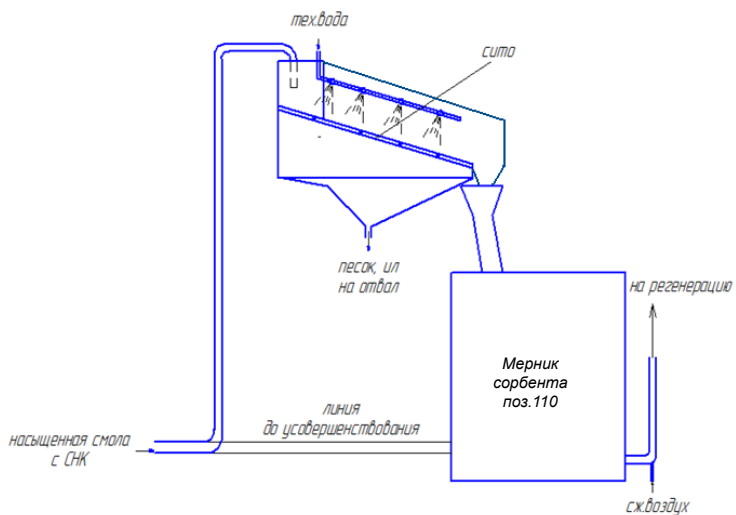
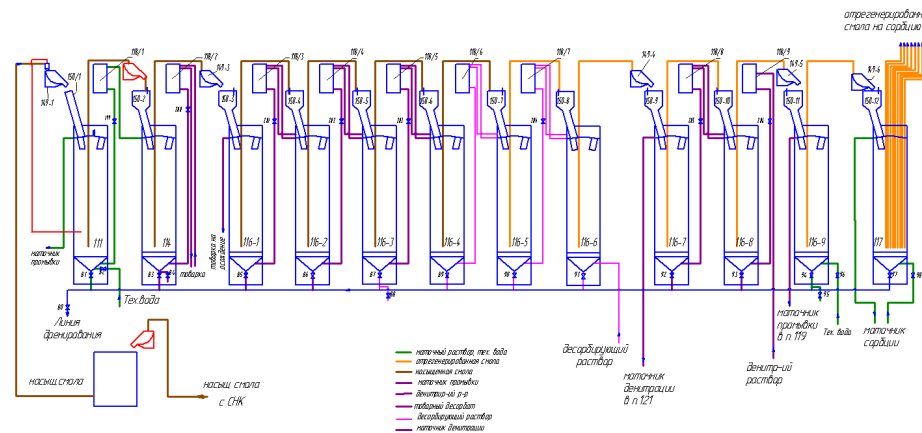


Рисунок 4. Отмывочное сито с механизированной системой подачи влаги на линии отгрузки СНК

Технологическая схема после усовершенствования



Результаты проведённого усовершенствования

По лабораторным анализам и данным тех.отчета построены графики 7, 8, 9, 10 (см. ниже). В которых видно снижение содержания Me в ВР, концентрации металла в отрегенированной смоле и уменьшение расхода хим.реагентов начиная в 2013 году.

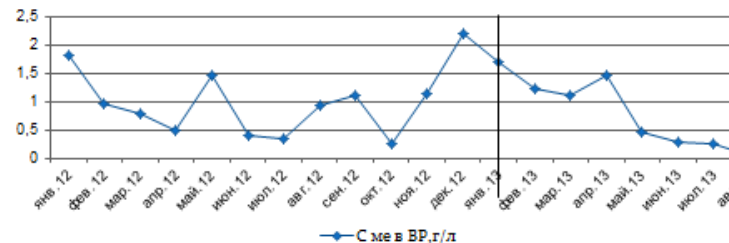


График 7. Динамика изменения концентрации металла в выщелачивающих растворах

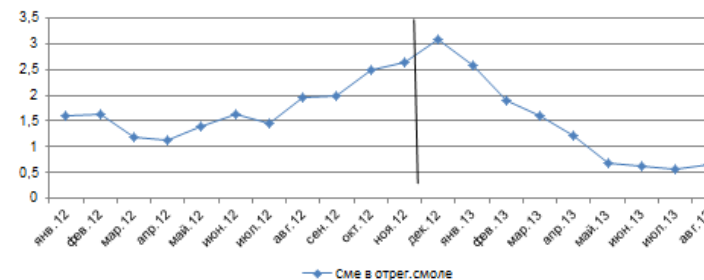


График 8. Динамика изменения концентрации металла в выщелачивающих растворах

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КНД-м НА УРАНОВЫХ ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА

Жондиллаева М.С., Каменев Л.И., Кошевой О.Г.
ТОО «Геотехносервис» РК, г. Алматы



График 9. Динамика расходов аммиачной селитры



График 10. Динамика расходов каустической соды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Была повышена эффективность процесса отмывки насыщенного ионита от песка и илов;
- стабилизировались процессы регенерации смолы;
- содержание урана в отрегенированной смоле снизилось с 2,5-3,0 до 0,5-1,0 г/л;
- повысился коэффициент извлечения урана из ПР;
- снизились удельные расходы химических реагентов :
 - аммиачной селитры с 2,9 до 2,7 кг/на кг U;
 - каустической соды с 0,9 до 0,75 кг/на кг U.

Геофизические работы сопровождают все стадии изучения большинства месторождений полезных ископаемых, начиная от прогнозных и поисковых работ, до детальной и эксплуатационной разведки и промышленного освоения. Особенно большое значение имеют ГИС при отработке пластово-инфильтрационных месторождений урана методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), поскольку бурение подавляющего большинства технологических скважин проводится без отбора керна и получить информацию, которая является основной при оценке запасов урана, проектировании и отработке месторождений, можно только с помощью геофизических методов.

При разведке и освоении урановых месторождений основным методом для определения параметров уранового оруденения является гамма-каротаж. Однако, основными источниками гамма-излучения, который регистрируется при гамма-каротаже, являются продукты распада радия. В связи с тем, что в окислительной и восстановительной обстановках поведение подвижных форм урана и радия существенно различаются, может происходить нарушение равновесия геохимической системы «уран-радий» (рисунок 1).

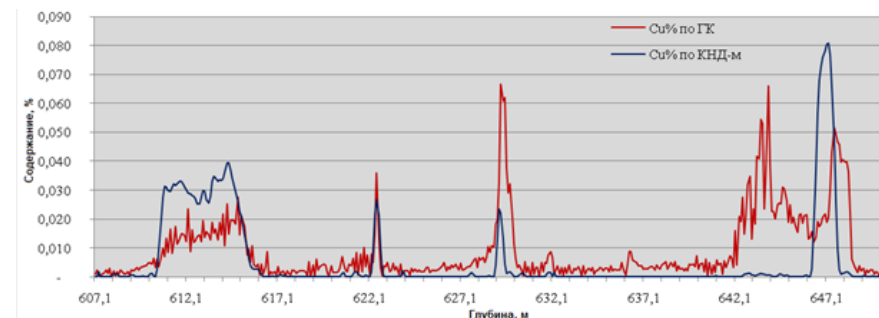


Рисунок 1. Содержание урана по результатам данных КНД-м и ГК

В условиях нарушения радиоактивного равновесия, в сложной радиологической обстановке определение концентрации урана в породе с помощью гамма-каротажа не всегда дает корректные результаты [1]. Решить проблему определения параметров уранового оруденения в таких условиях позволяет каротаж мгновенных нейтронов деления (КНД-м). КНД-м относится к импульсным нейтронным методам каротажей (ИНК) и является геофизическим методом прямого определения урана в естественном залегании в скважинных условиях. Результаты метода КНД-м не зависят от содержаний в рудах радия, тория, радиоизотопа калия, а также влияния радона.

Метод КНД-м в двухзондовом варианте достаточно эффективно начал применяться в конце 80-х – начале 90-х годов прошлого столетия, в основном на стадии геолого-

разведочных работ, однако в 90-е годы производство приборов было остановлено [2]. С начала 2008 года в ТОО «Геотехносервис» были начаты регулярные опытно-методические работы по оценке технических параметров и возможностей новой однозондовой аппаратуры серийного производства ФГУП ВНИИА им. Н.П. Духова, г. Москва.

Отсутствие сертификатов средств измерений на приборы, также как и метрологически аттестованных методик выполнения измерений (МВИ) определили первое направление внедрения метода как индикаторного в производстве ГИС. Уже на этой стадии внедрения метод позволяет качественно (без указания доверительных интервалов погрешностей) решить такие задачи, как:

- локализация рудных интервалов по стволу скважины;
- выявление радиевых оторочек и ореолов, а также для исключения установки фильтров в технологических скважинах в безрудные на уран интервалы;
- оперативное (в тот же день) получение экспресс-информации для контроля динамики выщелачивания урана в процессе обработки полигона.

В 2010 году в ТОО «Геотехносервис» были начаты работы по разработке МВИ с аппаратурой АИНК-60:

- с участием российских специалистов (Хайкович И.М., Ганичев Г.И.) был разработан и внесен в реестр НД стандарт СТ РК 2189-2012 «Месторождения урана. Требования к аппаратурно-методическому обеспечению каротажа методом мгновенных нейтронов деления при определении состава урановых руд. Общие требования»;
- группой проф. Поляченко А.Л. выполнен расчет теоретико-экспериментальных баз данных для интерпретации результатов каротажа аппаратурой АИНК-60 для различных геолого-технических условий урановых месторождений Казахстана гидрогенного (пластово-инфильтрационного) типа [3]. В результате расчетов получены теоретико-экспериментальные базы данных значения коэффициента пространственного распространения нейтронов для различных условий измерения в обсаженных и не обсаженных скважинах. Кроме того, в рамках той же работы проведено исследование зависимости вида $\sigma_{C_U} = f(C_U)$, т.е. величины конечной погрешности определения C_U от измеряемой величины C_U ;
- совместно с ВНИИ Геологоразведка (Россия) ведется работа по созданию и сертификации МВИ с АМК АИНК-60. В сентябре этого года совместно с Хайковичем и Ганичевым проведены методические измерения, которые будут использованы при подготовке МВИ. Все приборы, участвующие в методических измерениях на контрольно-поверочной скважине (КПС № 6789, п. Таукент), показали сходимость результатов в пределах 4,5 % (рисунок 2 и таблица 1);
- при поддержке рудодобывающих компаний: ТОО «Каратау», ТОО СП «Катко» и ТОО СП «Инкай», – собран материал по сравнению результатов КНД-м с лаб. анализом керновых проб (таблица 2 и 3).

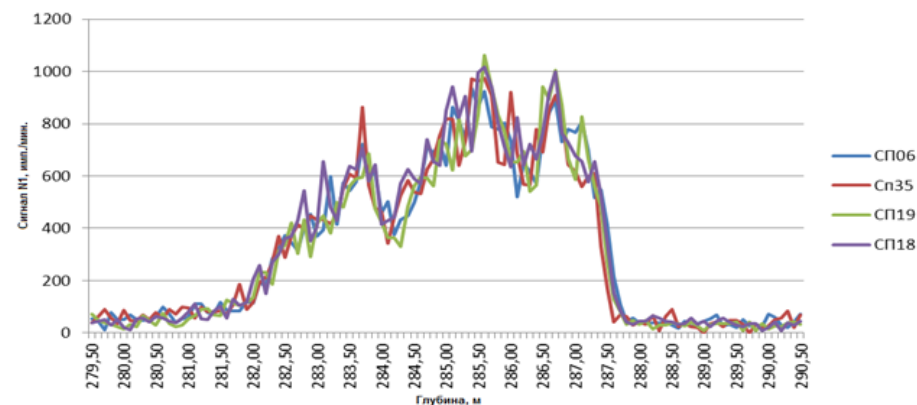


Рисунок 2. График измерений 4-х приборов АИНК-60 на КПС № 6789

Таблица 1. Данные, полученные на КПС № 6789 четырьмя приборами АИНК-6

	Площадь, S	$S_{\text{сред}}$	Отклонение от $S_{\text{сред}}$, %
SP06	3 361	3 362	0,0%
SP35	3 305		-1,7%
SP19	3 263		-3,0%
SP18	3 517		4,4%

Таблица 2. Данные результатов КНД-м и анализа керна на 22 разведочных скважинах, расчет их погрешности

РАЗВЕДОЧНОЕ БУРЕНИЕ						
№ интервала	Интервалы по КНД			Интервалы по опробованию		
	m	c	mc U	m	c	mc
1	2,00	0,038	0,0760	2,00	0,053	0,1060
2	6,10	0,133	0,8113	5,70	0,123	0,7011
3	0,80	0,038	0,0304	0,80	0,027	0,0216
4	4,80	0,040	0,1920	4,70	0,044	0,2068
5	0,90	0,211	0,1899	0,90	0,266	0,2394
6	1,00	0,031	0,0310	1,00	0,028	0,0280
7	3,00	0,062	0,1860	2,90	0,051	0,1479
8	1,90	0,055	0,1045	2,00	0,085	0,1700
9	5,90	0,030	0,1770	5,80	0,025	0,1450
10	0,40	0,079	0,0316	0,30	0,085	0,0255
11	1,70	0,047	0,0799	1,80	0,046	0,0828
12	2,10	0,041	0,0861	2,10	0,049	0,1029
13	1,00	0,096	0,0960	1,00	0,136	0,1360
14	0,60	0,214	0,1284	0,60	0,268	0,1608

15	2,50	0,050	0,1250	2,50	0,045	0,1125
16	7,90	0,087	0,6873	8,70	0,100	0,8700
17	1,30	0,207	0,2691	1,10	0,130	0,1430
18	2,70	0,047	0,1269	2,90	0,046	0,1334
19	5,90	0,045	0,2655	6,20	0,065	0,4030
20	1,10	0,039	0,0429	0,90	0,045	0,0405
21	1,70	0,077	0,1309	1,70	0,084	0,1428
22	0,80	0,103	0,0826	0,60	0,260	0,1560
сумма	56,10	1,770	3,9503	56,20	2,061	4,2750
ср.значение	2,55	0,070	0,1796	2,55	0,076	0,1943
ср.расх. z	-0,005	-0,006	-0,0160			
t-статистика	0,09	0,60	1,09			
t-критич.	2,0379					
Случайные расхождения S_{mc}				21,27%		

Таблица 3. Данные результатов КНД-м и анализа керн на 15 контрольных скважинах, расчет их погрешности

КОНТРОЛЬНОЕ БУРЕНИЕ						
№ интервала	Интервалы по КНД			Интервалы по опробованию		
	m	c	mc U	m	c	mc
1	5,50	0,185	1,0192	4,50	0,256	1,1520
2	0,70	0,020	0,0140	0,80	0,015	0,0120
3	0,50	0,090	0,0450	0,40	0,124	0,0496
4	0,30	0,015	0,0044	0,20	0,021	0,0042
5	1,30	0,086	0,1117	1,20	0,142	0,1704
6	1,90	0,038	0,0731	2,00	0,043	0,0860
7	1,40	0,229	0,3206	1,70	0,130	0,2210
8	4,20	0,050	0,2100	4,30	0,056	0,2408
9	3,80	0,137	0,5206	3,80	0,085	0,3230
10	0,20	0,012	0,0024	0,20	0,013	0,0026
11	2,20	0,059	0,1290	2,30	0,087	0,2001
12	0,50	0,019	0,0097	0,30	0,041	0,0123
13	0,60	0,027	0,0162	0,40	0,164	0,0656
14	2,30	0,044	0,1008	2,10	0,029	0,0609
15	2,90	0,023	0,0666	2,70	0,026	0,0702
сумма	28,30	1,034	2,6433	26,90	1,232	2,6707
ср.значение	1,89	0,093	0,1762	1,79	0,099	0,1780
ср.расх. z	0,093	-0,006	-0,0231			

t-статистика	1,22	0,43	1,22			
t-критич.	2,1314					
Случайные расхождения S_{mc}				25,57%		

В таблицах 2 и 3 представлены результаты сравнения параметров рудных интервалов по КНД и по керну на участках разведочного и контрольного бурения. Как показывают расчеты, имеющиеся расхождения не носят систематический характер [4, 5]. Случайные расхождения на разведке составили 21%, на контрольных скважинах около 25%.

Метрологическая аттестация аппаратуры и МВИ позволит реализовать в производстве ГИС все возможности метода КНД-м для решения целого ряда задач на экзогенных пластово-инфильтрационных месторождениях на разных стадиях работ, а именно:

- 1. На стадии поисков и разведки** - детальное изучение радиологии руд (коэффициента радиоактивного равновесия между радием и ураном) для внесения поправок в результаты гамма-каротажа. Применение метода КНД-м для получения количественных параметров оруденения (мощность рудного интервала и массовая доля урана) позволит уменьшить объемы бурения с отбором керн по рудовмещающему горизонту, соответственно уменьшаются объемы опробования кернового материала и аналитических лабораторных работ.

Метод КНД-м становится совершенно необходимым для участков со сложной геологической ситуацией, где представительный керновый материал для опробования получить практически невозможно, например, когда рудовмещающие породы представлены валунно-галечными отложениями.

Представляется достаточно важным применение метода КНД-м для оперативного принятия решения о дальнейшем направлении разведочных работ, поскольку метод позволяет получать экспресс-информацию о наличии и параметрах оруденения в тот же день.

- 2. При подготовке месторождений** к эксплуатации способом ПСВ на участках, где высока вероятность распространения радиевых ореолов, метод КНД-м позволяет уточнить наличие и глубину залегания рудных по урану интервалов для установки фильтров в технологических скважинах.
- 3. При отработке месторождений** способом ПСВ из руды извлекается уран, а радий остается на месте, что исключает применение гамма-каротажа для решения задачи мониторинга остаточных содержаний урана в выщелачиваемых пластах. Единственным способом геофизического контроля динамики процесса ПСВ и обеспечения оперативного и корректного управления этим процессом является метод КНД-м.
- 4. При завершении отработки запасов (ликвидация участка)** метод КНД-м позволит оценить полноту отработки участка, выделить площади с сохранившимися в недрах продуктивными растворами, и определить степень проникно-

вения металла в смежные водоносные горизонты. По данным КНД-м может определяться остаточное содержание металла в недрах и рассчитываться коэффициент извлечения металла из недр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Отв. ред. Михайлов Г.Н.* «Методы рудной геофизики. Каротаж и опробование радиоактивных руд». Ленинград, НПО «Рудгеофизика», 1988, с.54-72
2. *Г.И. Ганичев, В.А. Золотницкий и др.* «Инструкция по каротажу методом мгновенных нейтронов деления при изучении урановых месторождений гидрогенного типа». Ленинград, НПО «Рудгеофизика», 1986, 63 с.
3. *Поляченко А.Л.* Научно-технический отчет из двух разделов. «Разработка интерпретационного и методического обеспечения метода КНД-м с аппаратурой импульсного нейтронного каротажа АИНК-60 для геолого-технических условий урановых месторождений Казахстана гидрогенного типа» и «Разработка методики определения водородосодержания (влажности) рудовмещающих пород методом КНД-м с аппаратурой импульсного нейтронного каротажа АИНК-60 для геолого-технических условий урановых месторождений Казахстана гидрогенного типа». Москва, 2011, 95 с.
4. *Хасанов Э.Г., Абрамов Е.К. и др.* «Инструкция по каротажу методом мгновенных нейтронов деления при подготовке к эксплуатации и эксплуатации пластово-инфильтрационных месторождений урана». Алматы, НАК «Казатомпром», 2003, 65 с.
5. *Хайкович И.М., Абрамов Е.К. и др.* «Инструкция по гамма-каротажу на пластово-инфильтрационных месторождениях урана». Алматы, НАК «Казатомпром», 2009, 92 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ЗАКИСИ-ОКИСИ УРАНА, ПОЛУЧАЕМОЙ МЕТОДОМ ПЕРОКСИДНОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ТОВАРНОГО ДЕСОРБАТА

Толеубекова Ж.М.

ТОО «Каратау» РК, пос. Таукент, ЮКО

АННОТАЦИЯ

Закись-окись урана является промежуточным продуктом в производстве двуокиси, тетрафторида, гексафторида и металлического урана. Кроме того, благодаря высокой стабильности при обычных условиях закись-окись урана может использоваться для целей хранения. Закись-окись природного урана не должна содержать инородные материалы и предметы, которые не являются составной частью продукта переработки.

Закись-окись урана затаривается в транспортно упаковочные контейнера (ТУК-44/8), закрывается крышкой. Затаренные контейнера маркируются, загружаются в морские контейнеры и автотранспортом доставляются до станции ЦАПБ п.Таукент, ЮКО, откуда железнодорожным транспортом на платформах отправляются конечным получателям продукции.

В данном инновационном проекте рассмотрены способы отработки технологии получения закиси окиси урана и оптимизация процесса производства химического концентрата, которая позволила улучшить физические свойства концентрата урана путем увеличение роста кристаллов концентрата урана на руднике «Буденовское-2».

Для достижения повышения насыпной плотности закиси-окиси урана (ЗОУ), получаемой методом пероксидного осаждения урана из товарных десорбатов ТОО «Каратау» были изучены свойства насыпной плотности закиси окиси урана.

Данный метод получения ГП (закиси окиси урана) позволил увеличить заполнение упаковочной тары ТУК-44/8 с 80% до 90% от общей емкости контейнера.

В результате создается экономия по транспортно-упаковочным контейнерам (ТУК-44/8), упаковочно-транспортным и экспедиторским затратам, примерно на 10%.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время рудник «Буденовское-2» является одним из первых и ведущих предприятий холдинга АО «НАК «Казатомпром» выпускающий непосредственно на руднике экспортную готовую продукцию в виде закиси окиси урана в объеме 3 000 тонн/год. Готовая продукция непосредственно с рудника отправляется в адрес конечного получателя упакованная в невозвратную тару ТУК-44/8.

С момента начала выпуска готовой продукции транспортно упаковочный контейнер ТУК-44/8 заполнялся порошком закиси окиси на 80% от общей емкости контейнера.

В настоящее время отработка технологии получения закиси окиси урана и оптимизация процесса производства химического концентрата, позволила улучшить физические свойства концентрата урана и увеличить рост кристаллов концентрата. Данный технологический прием позволил увеличить заполнение упаковочной тары ТУК-44/8 закисью окисью урана на 10%, в результате заполнение бочки готовой продукцией позволило вести до 90% от вместимости тары.

Для достижения повышения насыпной плотности закиси-окиси урана (ЗОУ), получаемой методом пероксидного осаждения урана из товарных десорбатов ТОО «Каратау» были изучены свойства насыпной плотности закиси окиси урана.

Насыпная плотность как физическая характеристика относится к технологическим свойствам порошка. Насыпная плотность это объемная характеристика порошка, и представляет собой массу единицы его объема при свободной насыпке. Ее величина зависит от плотности упаковки частиц порошка при свободном заполнении ими какого-либо объема. Она тем больше, чем крупнее и более правильной формы частицы порошка и чем больше их пикнометрическая плотность. Наличие выступов и неровностей на поверхности частиц, а также увеличение поверхности в связи с уменьшением размера частиц повышает межчастичное трение, что затрудняет их перемещение относительно друг друга и приводит к снижению насыпной плотности.

При воздействии на свободно насыпанный порошок механических виброколебаний происходит уменьшение объема на 20-50%. Отношение массы порошка к величине этого нового, уменьшенного объема называют плотностью утряски. Максимальная плотность утряски достигается на порошках со сферической формой частиц при минимальной шероховатости их поверхности.

Поскольку плотность укладки частиц порошка в объеме определяется его дисперсностью, формой и удельной поверхностью частиц, то в зависимости от метода получения насыпная плотность порошка из одного материала может иметь различное значение. Кроме того, в пределах одного метода получения варьирование режимов изготовления порошка и его последующей термообработки может также оказывать влияние на величину насыпной плотности.

Насыпная плотность с утряской порошка закиси-окиси природного урана по требованиям СТ НАК 02-2007 и ТУ 95 1981-89 должна быть не менее 2 г/см³.

1. Способы получения химических концентратов природного урана

В настоящее время в Республике Казахстан основным источником получения урана является Кендыктас, Чу или Бетпак-Далинская ураново-рудная провинция. Одним из основных методов извлечения урана из рудного сырья является подземное сернокислотное выщелачивание.

В настоящее время в Казахстане урановые руды перерабатываются на месторождениях Уванас, Мынкудук, Канжуган, Мойынкум, Северный и Южный Карамурун способом подземного сернокислотного выщелачивания.

Производство «жёлтого кека» (химического концентрата природного урана) состоит из трёх технологических процессов:

- сорбции урана на ионнообменной смоле из растворов ПВ;
- элюирования урана с ионнообменной смолы;
- осаждения и затарки химического концентрата.

Продуктивные растворы (ПР) подземного выщелачивания (ПВ) с эксплуатационных блоков откачиваются в пескоотстойник ПР, где происходит их осветление от илов и песка. Песок и илы по мере накопления удаляются на захоронение в могильник твёрдых радиоактивных отходов. Осветленные растворы ПР насосами с центральной насосной станции подаются на колонны сорбции УППР, где происходит фильтрация этих растворов через слой ионита. В процессе фильтрации происходит ионный обмен, в результате чего ионит обогащается ураном, а растворы ПР обедняются ураном до 3 мг/л. Обеднённый по урану раствор - маточник сорбции (МС) проходит контрольную, где происходит доулавливание анионита, и поступает в пескоотстойник выщелачивающих растворов (ВР). Далее растворы поступают на центральную насосную станцию (ЦНС), откуда под давлением распределяются по эксплуатируемым блокам. На эксплуатируемых блоках установлены технологические узлы закисления (ТУЗ). Растворы перед подачей в блока проходят ТУЗы, где доукрепляются серной кислотой до определенной концентрации для каждого блока и закачиваются под землю в рудное тело и цикл по раствору оказывается замкнутым. Технологическая схема сорбции урана представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Технологическая схема сорбции урана

Управление процессом сорбции ведётся по урану в хвостах МС не более 5 мг/л. Насыщенный по урану ионит из колонн сорбции периодически эрлифтом откачивается в буферную колонну, где происходит отмывка ионита водой от илов и механических взвесей. Вода затем сбрасывается на контрольный грохот и далее в пескоотстойник продуктивных растворов.

После отмывки анионит эрлифтом поступает в колонну для донасыщения частью товарного регенерата до 8-10% и только после донасыщения анионит закачивают на нитратную десорбцию урана со смолы, осуществляемую в работающих колоннах.

Десорбированный по урану анионит подается эрлифтом в барабанный грохот, где отделяется от транспортного регенерирующегося раствора и направляется на процесс денитраций, то есть съём нитрат-иона со смолы который проводится в 3-х последовательно работающих колоннах по смоле, раствором серной кислоты 2,5-3,5% с рН = 0,5-1,0 с использованием части раствора из маточников сорбции.

Затем отрегенированный анионит поступает на сорбцию, замыкая круг движения анионита. Движение анионита по технологической схеме десорбции урана осуществляется последовательно из колонны в колонну в автоматическом режиме по реле времени.

Десорбция урана с анионита ведётся оборотными растворами, которые закольцованы и исключают непроизводительные потери.

Конец выхода товарного десорбата, то есть окончание цикла регенераций, определяется наличием урана в растворе на выходе из колонны не более 2-4 г/л. После чего автоматически по срабатыванию реле времени начинается цикл перекачки смолы. После окончания перегрузки ионита раствор вновь направляется в процесс денитрации. Концентрация нитрат-иона в товарном регенерате не должна превышать 30,0% от содержания урана в товарном регенерате.

Каскад осаждения включает в себя:

1. Узел приготовления нейтрализующих растворов осаждения.
2. Узел нейтрализации и осаждения.
3. Отстойники осаждения.

1.2 Пероксидная очистка

Известно, в исходных продуктах (руде, растворах, бедных концентратах) содержание примесей намного превышает содержание урана. При использовании достаточно селективных методов извлечения урана (сорбционная переработка растворов, осаждение урановых концентратов) конечные продукты содержат некоторое количество примесей и представляют концентраты той или иной чистоты.

Применение таких продуктов в качестве реакторного топлива недопустимо для достижения ядерной чистоты необходима более тонкая очистка урана от примесей. Эффективное поперечное сечение захвата медленных нейтронов определяет, в какой степени те или иные элементы являются нежелательными и какие должны быть их содержание в ядерно чистом уране. В таблице 1 приведены данные по эффективным поперечным сечениям захвата нейтронов для различных элементов.

Наиболее опасными являются элементы с максимальным значением сечения поглощения (захвата) нейтронов, например кадмий, бор, гафний, редкоземельные

элементы, особенно гадолиний, самарий, европий и так далее. Это так называемые нейтронные яды, присутствие которых вызывает потерю нейтронов. Содержание таких элементов в соединениях урана, предназначенных для использования в качестве ядерного топлива, должно быть ограничено строгими условиями. Соответствующие ограничения накладывают и на содержание других элементов, которые также вредны, но в меньшей степени.

В реальных системах на ядерные свойства вещества влияет не одна какая – либо примесь, а вся их сумма. Для количественной оценки влияние суммы примесей на захват нейтронов существует понятие «коэффициент опасности» (%).

Для получения продуктов урана ядерной чистоты используют более тонкую очистку - аффинаж.

Таблица 1. Данные по эффективным поперечным сечениям захвата нейтронов для различных элементов

Элемент	Сечение поглощения	Группа	Допустимое содержание, %	Элемент	Сечение поглощения	Группа	Доп. сод. %		
O	0,0002	$\sigma < 0,1$	10^{-2}	Cr	2,90	$1 < \sigma < 10$	10^{-4}		
C	0,0045			Cu	3,59				
Be	0,009			Ni	4,50				
F	0,010			V	4,70				
Mg	0,059			La	8,90				
Si	0,13			Co	34,8				
Pb	0,17			Ho	64,0				
Zr	0,18	$0,1 < \sigma < 1$	10^{-3}	Li	67,0	$10 < \sigma < 100$	10^{-5}		
P	0,19			Au	94,0				
Al	0,215			Lu	108,0				
H	0,33			Hf	118,0				
Ca	0,43			Tm	120,0				
Na	0,49			B	7500				
Ce	0,70			Dy	1100,0			$\sigma < 100$	10^{-6}
Nb	1,10			Cd	2400,0				
K	1,97			Eu	4500,0				
Mo	2,40			Sm	6500,0				
Fe	2,43			Gd	44000,0				

Методы аффинажа урана, как и применяемые реагенты, весьма разнообразны.

Один из довольно совершенных и эффективных методов аффинажа урана – трикарбонатная очистка, которая основана на образовании характерного для шестивалентного урана очень устойчивого комплексного соединения – аммоний уранил

трикарбоната. Использование данного метода позволяет путем изменений условий процесса добиться очистки урана от всех примесей и от тех, которые осаждаются из карбонатных растворов, и от тех, которые образуют в карбонатных средах растворимые соединения. Однако этот метод требует большого расхода достаточно дорогих реагентов - карбоната и бикарбоната аммония (1,4 кг на кг урана в растворе).

На руднике «Буденовское-2» используется метод пероксидного осаждения урана. Пероксидный метод позволяет отделить элементы с максимальным значением сечения поглощения (захвата) нейтронов, такие как бор, редкоземельные элементы и, по данным некоторых авторов, от лития, кадмия.

В урановой технологии известно много методов аффинажа, например: сульфитная, гидроокисная, оксалатная, фосфатная, карбонатная, пероксидная и экстракционная очистка. В настоящее время лишь последние три имеют промышленное значение.

2. Технологическая схема аффинажной очистки товарного десорбата и получения готовой продукции в виде закиси-окси природного урана на руднике «Буденовское-2»

Технологическая схема аффинажной очистки товарного десорбата и получения готовой продукции в виде закиси-окси природного урана, включает в себя следующие стадии процесса:

1. Переработка на ЦППР продуктивных растворов ПСВ урана с получением товарного десорбата на руднике «Буденовское-2»:
 - сорбционное извлечение урана из продуктивных растворов ПСВ урана, объединённых с оборотными технологическими растворами аффинажного производства;
 - возврат маточников сорбции, объединённых со сбросными и серноокислыми растворами железа аффинажного производства на ГТП;
 - регенерация насыщенной ураном ионообменной смолы с получением товарного десорбата;
 - направление полученного товарного десорбата на аффинажное производство.
2. Очистка товарного десорбата от примесей:
 - окисление 2-х валентного железа в 3-х валентное состояние перекисью водорода;
 - нейтрализация кислотности ТД раствором каустической соды;
 - осаждение железа каустической содой в виде гидроокиси;
 - сгущение осадка гидроокиси железа;
 - интенсификация процесса сгущения добавлением коагулянта «Magnafloc-351»;
 - направление осветленных растворов (товарного десорбата) на стадию осаждения урана;
 - фильтрация сгущённой части осадка гидроокиси железа на фильтр-прессе;
 - промывка осадка технической водой от урансодержащего раствора – товарного десорбата;
 - продувка осадка сжатым воздухом от поровой влаги – промывочных вод;
 - направление маточников фильтрации и промывочных вод на объединение с очищенным ТД;

- растворение осадка гидроокиси железа в маточниках сорбции с добавлением серной кислоты;
 - использование полученного серноокислого раствора железа в качестве дополнительного окислителя в процессе ПСВ урана – направление растворов на объединение с маточниками сорбции или на отдельные упорные блока. В случае значительной концентрации урана возврат раствора в пескоотстойник ПР.
3. Осаждение урана из товарного десорбата:
 - нейтрализация кислотности ТД раствором каустической соды;
 - осаждение урана раствором перекиси водорода с получением пульпы пероксида урана (ХКПУ);
 - корректировка величины значения pH процесса осаждения каустической содой;
 - поступление пероксидной пульпы на участок фильтрации.
 4. Фильтрация пульпы пероксида урана:
 - фильтрация пероксидной пульпы на фильтр-прессах;
 - промывка осадка водой от поровой влаги – осветлённых растворов, примесных компонентов – SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- и так далее;
 - продувка осадка сжатым воздухом от поровой влаги – промывочных вод;
 - направление маточников фильтрации и промывочных вод, через участок сгущения и отстоя, на объединение с продуктивными растворами ПСВ урана;
 - выгрузка ХКПУ и его поступление на стадию прокалки.
 5. Прокалка пероксида урана до закиси-окси:
 - сушка и прокалка осадка пероксида урана до закиси-окси в прокалочных печах;
 - отвод печных газов в систему пылегазоулавливания;
 - охлаждение полученной закиси-окси в шнеках-охладителях;
 - направление готовой продукции на узел затаривания в транспортную тару (стальные бочки).
 6. Затаривание готовой продукции в транспортную тару:
 - классификация частиц закиси-окси;
 - загрузка готовой продукции в транспортную тару – стальные бочки (ТУК-44/8);
 - формирование партий готовой продукции – 20 футовые морские контейнеры;
 - отгрузка партий готовой продукции конечному получателю.

Основными требованиями к технологическому оборудованию при его подборе были выбраны следующие параметры:

- обеспечение проведения технологических операций в соответствии с требованиями параметров процессов;
- надёжность в работе в течение межремонтного цикла;
- химическая стойкость оборудования;
- возможность автоматизации процессов;
- обеспечение безопасной эксплуатации оборудования.

Для осаждения железа и урана используются реакторы-осадители с механическим перемешиванием растворов и пульп.

Растворение осадка гидроксида железа и некондиционной закиси-окси, а также приготовления растворов химических реагентов осуществляется в контактных чанах с механическими мешалками.

Для отстоя и сгущения осадков гидроокиси железа и пероксида урана применены отстойники-сгустители.

В качестве аппаратов для фильтрации пульп осадков выбраны горизонтальные рамные фильтр-прессы с автоматической разгрузкой осадка типа «ФММ».

На обжиге осадка пероксида урана с получением закиси-окиси используются барабанные вращающиеся горизонтальные прокалочные печи типа «ВГТП-8М» с электрическим нагревом.

В составе оборудования системы пылегазоочистки основными аппаратами являются циклоны, пенные и водные скрубберы.

Все технологические операции производственного процесса максимально автоматизированы.

Работа узла затаривания готовой продукции механизирована – передвижение стальных бочек с закисью-окисью осуществляется с помощью реверсивной лебедки, перестановка бочек производится электроталью, перевозка поддонов с транспортной тарой выполняется автопогрузчиком.

Для выполнения погрузочно-разгрузочных работ при ремонте оборудования и проведении других трудоёмких операций предусмотрено подъёмно-транспортное оборудование. В качестве основных его видов используются передвижные тали и подвесные однопролётные и двухпролётные краны с электроприводом соответствующей грузоподъёмности.

2.1 Основные технологические и технические решения на аффинажном производстве рудника «Буденовское-2»

Эксплуатация аффинажного производства на месторождении «Буденовское-2», с целью повышения эффективности работы, осуществляется независимыми технологическими группами оборудования – модулями, по следующим переделам:

- I. Участок дробного гидролиза железа – каскад гидролитического осаждения железа – одна технологическая линия;
- II. Участок пероксидного осаждения урана – каскад непрерывного осаждения – две технологические линии;
- III. Участок фильтрации пероксидной пульпы – установка фильтрации и обезвоживания продукта – четыре технологические линии;
- IV. Участок сушки и прокалки – печь прокалки-термического разложения – четыре технологических линий;
- V. Участок затарки готового продукта – камера затаривания закиси-окиси урана – две технологических линии.

Для получения урановой продукции применены технологические решения, эффективность которых подтверждена промышленной практикой, проведенными исследованиями и испытаниями.

Переработка урансодержащего товарного десорбата проводится по схеме селективного осаждения урана, указанная на рисунке 1.1:

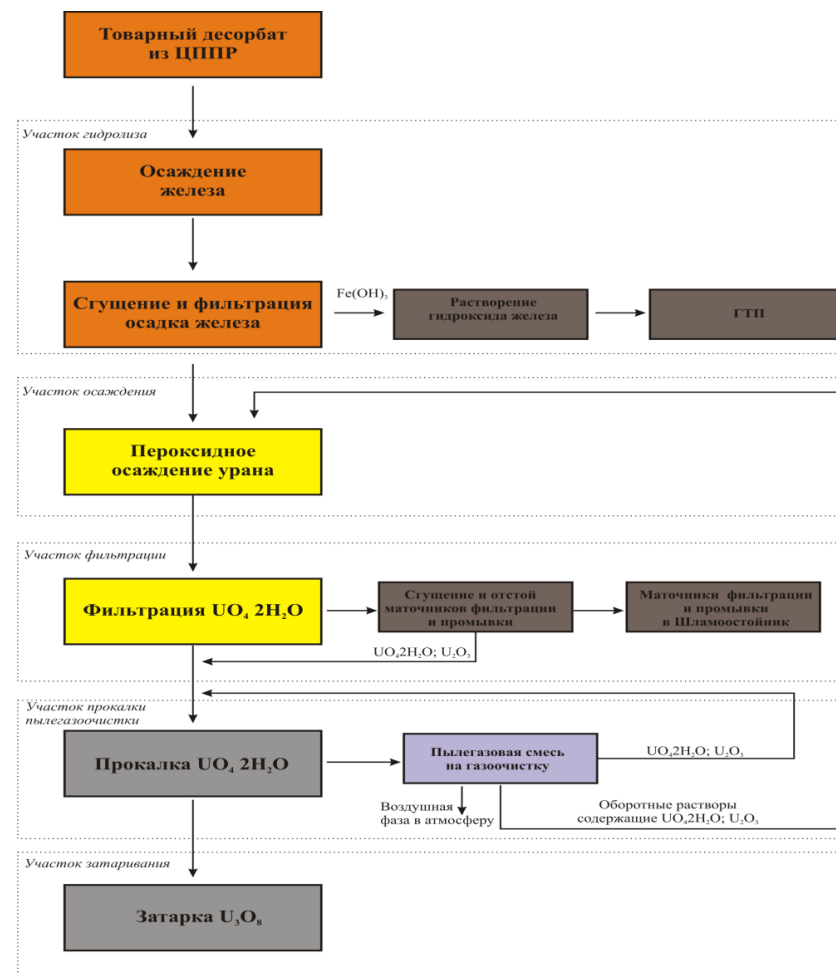


Рисунок 1.1. Укрупнённая технологическая схема аффинажной очистки товарного десорбата и получения закиси-окиси

- раствором 60 % перекиси водорода, производится окисление Fe²⁺ до Fe³⁺;
- раствором 30% каустической соды производится гидролитическое выделение железа и нейтрализация избыточной кислотности ТД до pH = 3,0÷3,3 ед., при этом уран остается в растворе;
- раствором 60% перекиси водорода при постоянном значении pH раствора, равном 3,3÷3,6 ед., осаждается уран;
- осадок пероксида урана направляется на сушку и прокалку с получением готовой продукции – закиси-окиси природного урана.

2.2 Изучение влияния режимов пероксидного осаждения урана на скорость фильтрации пероксида урана и насыпную плотность закиси окиси урана

Для проведения исследований на руднике «Буденовское-2» были проанализированы пробы товарного десорбата (ТД) и промышленной воды.

Химический состав раствора товарного десорбата и промышленной воды приведен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав раствора ТД и промышленной воды

Наименование элементов	Содержание	
	ТД, г/л	Промвода, мг/л
Уран	74,7	-
Железо	0,038	0,003
Алюминий	0,020	
Кальций	0,040	2,3
Кремний	0,043	8,7
Магний	0,075	0,46
Натрий	0,23	186
Калий	0,006	1,2
P	0,020	0,12
SO ₄	96,2	
pH	0,5	7,3

Для изучения влияния режимов пероксидного осаждения урана на скорость фильтрации пероксида урана (ПУ) и насыпную плотность ЗОУ основные параметры режима осаждения были выбраны в соответствии с временным технологическим регламентом процесса получения закиси-окиси урана методом пероксидного осаждения из растворов товарных десорбатов месторождения «Буденовское-2».

Оценка качества закиси-окиси урана проводилась в соответствии с требованиями стандартов СТ НАК 02-2007 и ТУ 95 1981- 89. Требования указанных стандартов приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Физико-химические требования, предъявляемые к закиси-окиси природного урана по стандарту «СТ НАК 02-2007»

№	Наименование показателей	СТ НАК 02-2007
1	Массовая доля урана, %, не менее	80,0
2	Массовая доля изотопа урана (²³⁵ U), %	0,711±0,005
3	Массовая доля пентаоксида ванадия, %, не более	0,1
4	Массовая доля молибдена, %, не более	0,1
5	Массовая доля циркония, %, не более	0,01

6	Массовая доля бора, %, не более	0,005
7	Массовая доля фосфора в пересчете на PO ₄ , %, не более	0,1
8	Массовая доля суммы хлора, брома, йода, %, не более	0,05
9	Массовая доля фтора, %, не более	0,01
10	Массовая доля мышьяка, %, не более	0,01
11	Массовая доля серы в пересчете на SO ₄ , %, не более	1,0
12	Массовая доля кальция, %, не более	0,05
13	Массовая доля натрия, %, не более	0,5
14	Массовая доля калия, %, не более	0,2
15	Массовая доля диоксида кремния, %, не более	0,5
16	Массовая доля тория, %, не более	0,01
17	Массовая доля железа, %, не более	0,15
18	Массовая доля углерода в пересчете на CO ₃ , %, не более	0,2
19	Массовая доля титана, %, не более	0,01
20	Массовая доля магния, %, не более	0,02
21	Массовая доля редкоземельных элементов (сумма гадолиния, самария, европия и диспрозия), %, не более	0,05
22	Массовая доля тяжелых металлов (сумма меди, свинца, висмута и сурьмы), %, не более	0,5
23	Массовая доля остатка, нерастворимого в азотной кислоте, %	0,1
24	Массовая доля извлекаемых органических веществ, %, не более	0,1
25	Потеря массы при прокаливании, %, не более	4,0
26	Массовая доля влаги, %, не более	2,0
27	Крупность, мм, не более	-6
28	Насыпная плотность, г/см ³ , не менее	2,0

Таблица 4. Физико-химические требования, предъявляемые к закиси-окиси природного урана по стандарту «ТУ 95 1981-89»

№	Наименование показателей	ТУ 95
1	Массовая доля урана, %, не менее	84,0
2	Массовая доля железа, %, не более	0,03
3	Массовая доля фосфора, %, не более	0,008
4	Массовая доля меди, %, не более	0,0003
5	Массовая доля ванадия, %, не более	0,01
6	Массовая доля суммы натрия и калия, %, не более	0,01
7	Массовая доля алюминия, %, не более	0,01
8	Массовая доля кремния, %, не более	0,008
9	Массовая доля никеля, %, не более	0,004

10	Массовая доля марганца, %, не более	0,004
11	Массовая доля бора, %, не более	0,000025
12	Массовая доля молибдена, %, не более	0,009
13	Массовая доля тория, %, не более	0,005
14	Массовая доля самария, %, не более	0,00005
15	Массовая доля европия, %, не более	0,00002
16	Массовая доля гадолиния, %, не более	0,00005
17	Массовая доля вольфрама, %, не более	не нормируется
18	Массовая доля хрома, %, не более	не нормируется
19	Массовая доля азота, %, не более	не нормируется
20	Степень восстановления, % не менее	80,0
21	Насыпная плотность, г/см ³ , не менее	2,0

Осаждение урана из растворов ТД в непрерывном режиме, запуск, эксплуатация и автоматизация каскадов пероксидного осаждения в непрерывном режиме позволила оптимизировать физико-химический состав получаемой продукции, удельный расход химических реагентов, сократить нагрузку и воздействие человеческого фактора на данном участке.

Концентрация растворов каустической соды и перекиси водорода. Ранее проведенные экспериментальные исследования подтвердили необходимость использования растворов каустической соды с концентрацией основного реагента не выше 30%. В противном случае повышается возможность образования центров локального пересыщения, снижается эффективность работы каскадного оборудования и повышается степень захвата посторонних компонентов в осадок. Кроме того, щелочной раствор должен быть заранее приготовлен и применяться охлажденным. Анализ изменения параметров режима осаждения пероксида урана при использовании H₂O₂ разной концентрации показал, что снижение концентрации раствора пероксида водорода ведёт к увеличению скорости фильтрации пульпы, при этом содержание урана в маточниках фильтрации не превышает 0,001-0,05 г/дм³, что характеризует полноту его осаждения.

Расчетное количество пероксида водорода, необходимое для осаждения ПУ, составляло 0,3 г на 1 г урана. В проведенных исследованиях пероксид водорода использовали в виде 60% раствора H₂O₂. В качестве нейтрализатора использовали 30% раствор едкого натра, pH осаждение поддерживали при 3,5-3,8.

Перед началом осаждения pH раствора товарного десорбата доводили до требуемого уровня раствором NaOH. Подачу растворов пероксида водорода и NaOH осуществляли поочередно, контролируя интервал изменения pH, который не превышал 0,3 ед. pH. По окончании подачи расчетного объема раствора пероксида водорода в раствор товарного десорбата пульпа ПУ выдерживалась при постоянном перемешивании в течение заданного времени. Затем проводилась фильтрация и последующая промывка осадка на фильтре дистиллированной водой. Для получения закиси-окиси урана осадок ПУ прокачивали в печи при температуре 750°C.

Во всех экспериментах контролировали pH осаждения, расходы и время подачи растворов H₂O₂ и NaOH, продолжительность выдержки пульпы, скорость фильтрации пульпы, объем воды для промывки осадка, температуру и продолжительность прокалки осадка, содержание урана и примесей в ЗОУ, насыпную плотность с утряской порошка ЗОУ. Для изучения влияния режимов осаждения на скорость фильтрации пероксида урана и насыпную плотность ЗОУ были выбраны несколько параметров: интенсивность перемешивания пульпы, концентрация раствора пероксида водорода, продолжительность выдержки пульпы, pH осаждения пероксида урана.

2.3 Влияние интенсивности перемешивания пульпы

Для проведения исследований по влиянию интенсивности перемешивания пульпы в процессе осаждения ПУ в лабораторных условиях были выбраны 2 режима перемешивания: с низкой и с высокой скоростями вращения мешалки. Результаты проведенных экспериментов представлены в таблице 5.

Таблица 5. Влияние интенсивности перемешивания пульпы на параметры процесса осаждения и характеристики ЗОУ

Наименование параметра	Скорость вращения мешалки	
	низкая	высокая
Скорость фильтрации пульпы, м ³ /м ² · ч	3,0	2,4
Содержание U в маточном растворе, г/л	0,001	0,001
Содержание U в ЗОУ, %	84,0	84,1
Содержание Fe в ЗОУ, %	0,059	0,058
Содержание Na в ЗОУ, %	0,11	0,06
Насыпная плотность с утряской, г/см ³	2,3	2,1

При низкой скорости вращения мешалки удлинялась продолжительность процесса нейтрализации выделяющейся при пероксидном осаждении кислоты, поэтому затягивался процесс регулировки pH осаждения. Вследствие этого, продолжительность подачи реагентов для осаждения пероксида урана увеличилась практически в 2 раза.

Из данных таблицы 5 следует, что при низкой скорости вращения мешалки были зафиксированы несколько более высокие значения скорости фильтрации пульпы (3 м³/м² · ч) и насыпной плотности с утряской порошка ЗОУ (2,3 г/см³), а при высокой скорости вращения мешалки значения этих показателей составили соответственно 2,4 м³/м² · ч и 2,1 г/см³.

Некоторое увеличение скорости фильтрации пульпы и насыпной плотности ЗОУ при низкой скорости вращения мешалки может быть объяснено неоднородностью осадка по химическому составу. При низкой интенсивности перемешивания растворов в отдельные моменты возникает местное пересыщение, способствующее выпадению полиураната натрия, который способствует некоторому росту скорости фильтрации пульпы пероксида урана и насыпной плотности ЗОУ. Увеличение содержания натрия с 0,06 до 0,11% в конечном порошке ЗОУ подтверждает это предположение.

Таким образом, снижение скорости перемешивания пульпы при пероксидном осаждении не может быть рекомендовано для регулирования насыпной плотности, так как отрицательно сказывается на однородности получаемого осадка по химическому составу, и, в конечном счете, снижает качество ЗОУ.

2.4 Влияние времени выдержки пульпы пероксида урана

Для завершения процесса осаждения и кристаллизации пероксида урана после окончания подачи растворов H_2O_2 и NaOH пульпу выдерживают в течение определенного времени. Исследовано влияние продолжительности выдержки пульпы на характеристики ЗОУ. Эффективная работа каскада непрерывного осаждения урана происходит при производительности по ТД от 3 до 4 м³/час (на один технологический модуль), при регламентированной концентрации основного компонента в товарном десорбате. Дальнейшее повышение производительности приводит к увеличению остаточного содержания урана в маточном растворе, ухудшению физико-химических характеристик получаемого продукта и росту удельных затрат химических реагентов. Суммарная производительность участка осаждения урана при оптимальном его использовании составляет 6-8 м³/час.

Таблица 6. Влияние времени выдержки пульпы пероксида урана на параметры процесса осаждения и характеристики ЗОУ

Наименование параметра	Продолжительность выдержки пульпы, ч		
	1	2	4
Скорость фильтрации пульпы, м ³ /м ² • ч	2,38	1,47	1,54
Содержание U в маточном растворе, г/л	0,003	0,003	0,003
Содержание U в ЗОУ, %	84,2	84,0	83,99
Содержание Fe в ЗОУ, %	0,052	0,062	0,059
Содержание Na в ЗОУ, %	0,062	0,072	0,078
Насыпная плотность с утряской, г/см ³	2,3	2,0	2,0

Из таблицы 6 видно, что увеличение продолжительности выдержки пульпы более 1 часа привело к снижению скорости фильтрации пульпы в 1,5-1,6 раза. Также с увеличением продолжительности выдержки наблюдается увеличение содержания натрия и железа в ЗОУ. По-видимому, при контакте осадка ПУ с маточным раствором с течением времени происходит его пептизация, что приводит к ухудшению фильтрации и, следовательно, к снижению эффективности отмывки осадка от маточного раствора, в котором и присутствуют ионы натрия.

Насыпная плотность ЗОУ при выдержке пульпы в течение 1 часа составила 2,3 г/см³, при выдержке 2 ч и 4 ч наметилась тенденция к снижению насыпной плотности (2,0 г/см³). Поэтому можно сделать вывод, что увеличение продолжительности выдержки пульпы более 1 часа ведет к снижению скорости фильтрации пульпы и насыпной плотности ЗОУ.

2.5 Влияние значения pH осаждения

Величина pH – это основной параметр процесса пероксидного осаждения, определяющий примесный состав пероксида урана, а следовательно состав ЗОУ, и полноту осаждения урана из раствора. Из примесей, присутствующих в растворе ТД наиболее проблематичным является железо. Осаждение соединений железа происходит в определенном интервале pH. При pH < 2,5 осаждения железа не наблюдается, при pH 2,5-3,5 в присутствии окислителя происходит осаждение Fe³⁺ в форме оксигидрата. Следовательно, изменяя значение pH, можно добиться требуемого содержания железа в конечном продукте.

По требованиям ТУ 95 1981-89 содержание железа в ЗОУ не должно превышать 0,03%, по требованиям СТ НАК 02-2007 – не более 0,15%. Для исследования влияния величины pH осаждения пероксида урана на характеристики ЗОУ были опробованы три режима:

- 1) pH = 3,5 ÷ 3,8;
- 2) pH = 2,5 ÷ 2,8;
- 3) pH = 1,5 ÷ 1,8.

Результаты проведенных экспериментов представлены в таблице 7.

Таблица 7. Влияние значения pH на параметры процесса осаждения и характеристики ЗОУ

Наименование параметра	Интервал pH осаждения		
	3,5 ÷ 3,8	2,5 ÷ 2,8	1,5 ÷ 1,8
Скорость фильтрации пульпы, м ³ /м ² • ч	2,20	2,15	0,08
Содержание U в маточном растворе, г/л	0,006	0,055	4,76
Содержание U в ЗОУ, %	84,26	84,19	84,25
Содержание Fe в ЗОУ, %	0,058	0,013	0,001
Содержание Na в ЗОУ, %	0,058	0,054	0,055
Насыпная плотность с утряской, г/см ³	2,0	2,5	2,5

Из данных таблицы 7 следует, что скорость фильтрации пульпы, осажденной при pH 3,5-3,8 и 2,5-2,8, составляла 2,2-2,15 м³/м² • ч. Дальнейшее снижение pH до 1,5-1,8 привело к существенному ухудшению скорости фильтрации пульпы (0,08 м³/м²•ч). Известно, что при снижении pH осаждения заметно ухудшается и полнота осаждения урана. Так при изменении pH с 3,5-3,8 до 1,5-1,8 содержание урана в маточном растворе увеличилось с 0,006 до 4,76 г/л. Эти факты характеризуют отрицательное влияние снижения pH осаждения.

Положительное действие изменения pH осаждения с 3,5-3,8 до 1,5-1,8 проявилось в том, что содержание железа в ЗОУ снизилось с 0,058% до 0,001%, а насыпная плотность ЗОУ увеличилась с 2,0 до 2,5 г/см³.

Сравнительный анализ результатов экспериментов показал, что для получения ЗОУ с содержанием железа, соответствующим требованиям ТУ 95 1981-89, целесообразно выбрать интервал pH осаждения 3,5-3,8. Однако, в данном случае

содержание натрия превышает требования ТУ 95 1981-89, так как в качестве раствора нейтрализатора при пероксидном осаждении по требованию ТОО «Каратау» использовался 30% раствор NaOH.

2.6 Влияние рабочей температуры на процесс осаждения

В реакторах каскадного осаждения с целью поддержания оптимального температурного диапазона смонтировано теплообменное оборудование. Использование системы охлаждения в процессе осаждения позволяет, повисить эффективность работы данного участка.

3. Изучение влияния режимов термического разложения пероксида урана на насыпную плотность закиси окиси урана

3.1 Влияние времени выдержки продукта в печи

Выбор продолжительности времени прокаливания пероксида урана осуществлялся исходя из ориентировочного времени нахождения продуктов прокалики в печи ВГТП-8. Для экспериментов были выбраны следующие интервалы прокалики 0,5 ч; 1 ч; 1,5 ч. Данные экспериментов приведены в таблице 8.

Таблица 8. Влияние времени выдержки продукта в печи на насыпную плотность ЗОУ

Наименование параметра	Продолжительность прокалики, ч		
	0,5	1	1,5
Содержание U в ЗОУ, %	83,4	84,24	84,27
Насыпная плотность без утряски, г/см ³	0,92	0,97	0,97
Насыпная плотность с утряской, г/см ³	2,0	2,1	2,1

Из данных таблицы 8 следует, что при прокаливании пероксида урана в течение 0,5 ч при температуре 750°C насыпная плотность (с утряской) ЗОУ составила 2,0 г/см³, содержание урана в ЗОУ за этот период не достигло требуемого уровня и составляло 83,4%. При увеличении продолжительности прокаливания до 1 ч насыпная плотность с утряской увеличилась до 2,1 г/см³, а содержание урана в ЗОУ возросло до 84,27%, дальнейшее увеличение времени прокалики до 1,5 ч не привело к изменению полученных результатов.

Таким образом, продолжительность прокалики пероксида урана до закиси-окиси урана с содержанием урана более 84% должна составлять не менее 1 ч при температуре не менее 750°C.

3.2 Влияние влажности пероксида урана

Для проведения экспериментов по влиянию влажности осадка пероксида урана на насыпную плотность ЗОУ осадок, полученный в результате одного осаждения был разделен на три части. Первую часть отправили на прокалику в виде пасты с влажностью 30%, вторую часть сушили до влажности 20%, третью часть сушили до постоянного веса, а затем каждую часть прокаливали при температуре 750°C в течение 1 часа. Данные по насыпной плотности полученных проб ЗОУ приведены в таблице 9.

Таблица 9. Влияние влажности ПУ на насыпную плотность ЗОУ

Наименование параметра	Влажность осадка пероксида урана, %		
	30	20	<1
Содержание U в ЗОУ, %	84,25	84,27	84,25
Насыпная плотность без утряски, г/см ³	0,92	0,94	0,90
Насыпная плотность с утряской, г/см ³	2,0	1,9	1,6

По результатам таблицы 9 видно, что влажность пероксида урана не оказывает существенного влияния на насыпную плотность ЗОУ. Более того, отмечено, что при прокаливании сухого порошка пероксида урана значительно увеличивается пыление продукта, что может приводить к потерям порошка ЗОУ за счет уноса с газами в вентиляционную систему. В связи с этим рекомендуется прокалывать пероксид урана без предварительной сушки.

3.3 Влияние температуры прокалики по зонам печи

Прокалика пероксида урана в лабораторных условиях проводилась при одной температуре - 750°C. При получении ЗОУ в промышленных условиях в непрерывном режиме влажная паста урансодержащих солей прокаливается в печах при 2-х- или 3-х зонном температурном режиме с увеличением температуры от первой к последней зоне прокалики. В лабораторных условиях был опробован подобный режим прокалики для пероксида урана. Данные приведены в таблице 10.

Таблица 10. Влияние изменения режима прокалики пероксида урана по зонам печи на насыпную плотность ЗОУ

Наименование параметра	Режим прокалики	
	750°C 1ч	350-550-750 °C по 0,5 ч в зоне
Содержание U в ЗОУ, %	84,20	84,18
Насыпная плотность без утряски, г/см ³	0,86	0,85
Насыпная плотность с утряской, г/см ³	2,0	2,0

Из таблицы 10 следует, что изменение режима прокалики пероксида урана за счет установления трех зон с температурой 350°C, 550°C и 750°C не привело к увеличению насыпной плотности порошка ЗОУ. Значение насыпной плотности ЗОУ осталось на уровне 2,0 г/см³.

Необходимо также отметить, что порошок ЗОУ, полученный в лабораторных условиях в результате прокалики пероксида урана, практически во всех пробах характеризовался плохой текучестью. Этот технологический показатель косвенно характеризует низкий уровень насыпной плотности, который наблюдается у мелких и легких порошков.

Из практического опыта по получению закиси-окиси урана из полиураната аммония в промышленных условиях известно, что большое влияние на уровень насыпной плотности порошка оказывает степень загрузки печи продуктом и наличие в печи вытеснителя, который уплотняет порошок при прокалике по мере его продвижения во вращающейся реторте печи, способствуя повышению насыпной плотности.

4. Морфологические исследования пероксида урана и закиси окиси урана

Изучение и измерение размеров частиц проведено методами микроскопического анализа на оптическом микроскопе «AXIOVERT 200 MAT», фирмы Zeiss с помощью высокоточной программы «Image-Pro Plus 4.5.1».

Частицы исследуемых проб порошков образуют агломераты. При подсчете среднего размера частиц агломераты не учитывались. Внешний вид частиц порошков ПУ и ЗОУ, полученных с использованием в качестве нейтрализатора NaOH приведены на рисунках 2.1-2.5.

Проба порошка пероксида урана

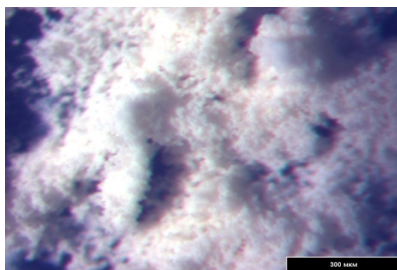


Рисунок 2.1 Внешний вид порошка пероксида урана

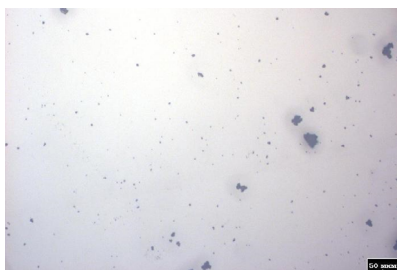


Рисунок 2.2 Микрофотография порошка пероксида урана

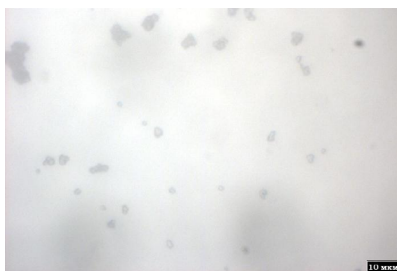


Рисунок 2.3 Микрофотография порошка пероксида урана

По данным микроскопического анализа средний размер отдельных частиц пробы составляет 2,04 мкм (минимальное значение 0,87 мкм, максимальное 3,49 мкм).

Проба порошка ЗОУ с NaOH

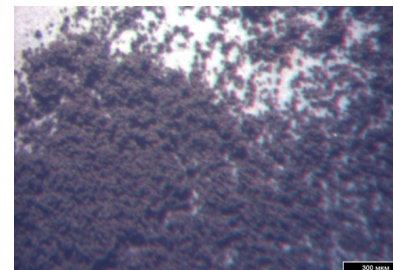


Рисунок 2.4 Внешний вид порошка ЗОУ с NaOH

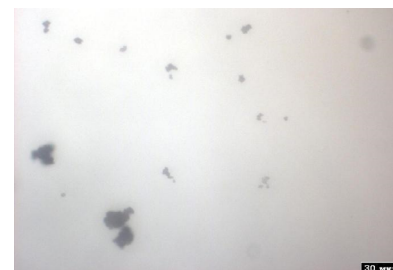


Рисунок 2.5 Микрофотография порошка ЗОУ с NaOH

По данным микроскопического анализа средний размер отдельных частиц пробы составляет 1,81 мкм (минимальное значение 1,057 мкм, максимальное 3,25 мкм).

5. Уточнение параметров осаждения пероксида урана для получения ЗОУ по ТУ 95 1981-89 и СТ НАК 02-2007

На основании анализа результатов проведенных экспериментов по осаждению пероксида урана с использованием в качестве нейтрализатора раствора NaOH и характеристик полученных проб ЗОУ был уточнен режим осаждения, промывки пероксида урана и прокалки ЗОУ.

Для получения ЗОУ, соответствующей требованиям СТ НАК 02-2007 используется следующий режим осаждения:

- концентрация раствора H_2O_2 – 30%;
- расход пероксида водорода 0,3 г/г U;
- концентрация раствора NaOH – 30%;
- нейтрализация раствора товарного десорбата до pH=3,5 проводится раствором NaOH;
- pH осаждения 3,5-3,6;
- выдержка пульпы при постоянном перемешивании после прекращения подачи реагентов составляет 1ч;
- осаждение ведется при температуре окружающей среды без дополнительного нагрева.

По окончании осаждения пульпа фильтруется, осадок промывается на фильтре дистиллированной водой при объемном соотношении Т:Ж=1:2.

Осаждение пероксида водорода можно проводить либо при порционной подаче раствора H_2O_2 и одновременной нейтрализации выделяющейся кислоты раствором $NaOH$, либо с введением всего расчетного количества раствора H_2O_2 и последующей корректировкой pH раствором нейтрализатора, как это было описано в предыдущем отчете.

На прокалку полученный пероксид урана подается в виде влажной пасты. Температура прокалки $750^{\circ}C$, продолжительность прокалки не менее 1 ч.

Химический состав ЗОУ, полученной по указанным режимам, приведен в таблице 11.

Таблица 11. Содержание примесей в закиси-окиси урана

№	Наименование показателей	СТ НАК 02-2007	ЗОУ
1	Массовая доля урана, %, не менее	80,0	84,1
2	Массовая доля изотопа урана (235), %	0,711±0,005	0,711
3	Массовая доля пентаоксида ванадия, %, не более	0,1	0,0054
4	Массовая доля молибдена, %, не более	0,1	0,001
5	Массовая доля циркония, %, не более	0,01	0,001
6	Массовая доля бора, %, не более	0,005	0,00001
7	Массовая доля фосфора в пересчете на PO_4 , %, не более	0,1	0,040
8	Массовая доля суммы хлора, брома, йода, %, не более	0,05	<0,012
9	Массовая доля фтора, %, не более	0,01	<0,0006
10	Массовая доля мышьяка, %, не более	0,01	0,0039
11	Массовая доля серы в пересчете на SO_4 , %, не более	1,0	0,33
12	Массовая доля кальция, %, не более	0,05	0,003
13	Массовая доля натрия, %, не более	0,5	0,077
14	Массовая доля калия, %, не более	0,2	0,0015
15	Массовая доля диоксида кремния, %, не более	0,5	0,0034
16	Массовая доля тория, %, не более	0,01	0,00005
17	Массовая доля железа, %, не более	0,15	0,020
18	Массовая доля углерода в пересчете на CO_2 , %, не более	0,2	<0,006
19	Массовая доля титана, %, не более	0,01	0,00036
20	Массовая доля магния, %, не более	0,02	0,00059
21	Массовая доля редкоземельных элементов (сумма гадолиния, самария, европия и диспрозия), %, не более	0,05	0,0000232
22	Массовая доля тяжелых металлов (сумма меди, свинца, висмута и сурьмы), %, не более	0,5	0,0005
23	Насыпная плотность, $г/см^3$, не менее	2,0	2,7

Примесный состав ЗОУ, приведенный в таблице 11, полностью соответствует требованиям СТ НАК 02-2007.

На прокалку полученный пероксид урана подается в виде влажной пасты. Температура прокалки составляет $750^{\circ}C$, продолжительность прокалки не менее 1 ч.

6. Экономический эффект заполнения ТУК 44/8 высокой насыпной плотностью ЗОУ

В настоящее время отработка технологии получения закиси окиси урана и оптимизация процесса производства химического концентрата, позволила улучшить физические свойства концентрата урана и увеличить рост кристаллов концентрата. Данный технологический прием позволил увеличить заполнение упаковочной тары ТУК 44/8 закисью окисью урана на 10%, в результате заполнение бочки готовой продукцией позволило вести до 90% от вместимости тары. В таблице 12 приведены исходные данные расчета экономического эффекта.

В результате создается экономия по транспортно-упаковочным контейнерам (ТУК 44/8), упаковочно-транспортным и экспедиторским затратам, примерно на 10%.

Таблица 12. Исходные данные для расчета

1	Существующий вариант				
2	Объем производства на 2012 г.	Впр	кг/год	3 000 000,00	Производственная программа 2012 г.
3	Вес урана в бочке на первый квартал 2012 г.	Вур/б	кг	372,00	Производственная программа 2012 г.
4	Количество бочек в партии	б/п	шт.	36,00	Производственная программа 2012 г.
5	Вес урана в партии на первый квартал 2012 г.	Вур/п	кг.	13 392,00	Производственная программа 2012 г.
6	Количество партий в год	п/год	шт.	224,01	Производственная программа 2012 г.
7	Стоимость упаковки одной партии	Ст-сть уп.	тыс.тг.	566,69	Договор с ТС-Таукент №203-2011 от 12.05.2011
8	Стоимость транспортных услуг Жанатас-Глазов	Ст-сть трансп.	тыс.тг.	421,60	Договор с МАЕР №94-2012 от 02.02.12
9	Экспедиторские услуги по безопасности	Зэ.б.	тыс.тг.	728,85	Договор с IFC Colors №46-2012 от 27.01.12
10	Экспедиторские услуги по возврату порожних 20-ти футовых контейнеров	Зэ.в.	тыс.тг.	191,45	Договор с IFC Colors №46-2012 от 27.01.13
11	Аренда вагона сопровождения в сутки (1 вагон на партию с ГП)	З.а.в.	тыс.тг.	426,50	Договор с Мицар-А №69-2012 от 10.02.12
12	Сопровождение спецгрузов ж/д транспортом по территории РК-Рфф	Зж/д	тыс.тг.	481,60	Договор с Мицар-А №49-2012 от 30.01.2012

13	Стоимость ТУК 44/8	Ст-сть ТУК	тыс.тг.	19,38	Договор с КЭММ-2030 №104-2012 от 02.03.2012
14	Сертификация 1 партии ГП	Зсерт.	тыс.тг.	182,40	ЦП от СЦ КАМ №01-06/535 от 28.06.2011
15	Итого стоимость сертификации	О.З.серт	тыс.тг.	40 859,54	
16	Итого упаковочно-транспортных затрат	3 уп-трансп.	тыс.тг.	630 978,28	
17	Итого затрат на бочки	Збоч.	тыс.тг.	156 258,06	
18	Предлагаемый вариант				
19	Масса (нетто) продукции в одном упаковочном комплекте (по ЗОУ).	Макс. вес	кг	454,00	Согласно требования СТ НАК 02-2007 (п.3.4)
20	Массовая доля урана в ЗОУ	К.ур	%	0,83	
21	Вес урана в бочке на второе полугодие 2012 г.	Вур/б	кг	377	
22	Вес урана в партии на второе полугодие 2012 г.	Вур/п	шт.	13 565,52	
23	Количество партий в год	п/год	шт.	221,15	
24	Итого упаковочно-транспортных затрат	3 уп-трансп.	тыс.тг.	622 907,27	
25	Итого затрат на бочки	Збоч.	тыс.тг.	154 259,33	
26	Итого стоимость сертификации	О.З.серт	тыс.тг.	40 336,90	

— Экономия упаковочно-транспортных затрат:
630 978,28 тыс.тг – 622 907,27 тыс.тг = 8 071,01 тыс.тг.

— Экономия на сертификацию ГП:
40 859,54 тыс.тг – 40 336,90 тыс.тг = 522,64 тыс.тг.

— Экономия затрат на бочки:
156 258,06тыс.тг – 154 259,33 тыс.тг = 1 998,73 тыс.тг.

Экономический эффект сокращения упаковочных и транспортных расходов при реализации ГП в целом составляет:

$$8\,071,01 \text{ тыс.тг} + 522,64 \text{ тыс.тг} + 1\,998,73 \text{ тыс.тг} = 10\,592,38 \text{ тыс.тг.}$$

ВЫВОДЫ

- Осаждение урана из растворов ТД в непрерывном режиме, запуск, эксплуатация и автоматизация каскадов пероксидного осаждения в непрерывном режиме позволила оптимизировать физико-химический состав получаемой продукции, удельный расход химических реагентов, сократить нагрузку и воздействие человеческого фактора на данном участке.
- Проведено изучение влияния режимов пероксидного осаждения урана на скорость фильтрации пероксида урана и насыпную плотность ЗОУ:

- при низкой интенсивности перемешивания растворов в процессе пероксидного осаждения были зафиксированы несколько более высокие значения скорости фильтрации пульпы ($3 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$) и насыпной плотности с утряской порошка ЗОУ ($2,3 \text{ г/см}^3$), а при высокой интенсивности перемешивания значения этих показателей составили соответственно $2,4 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ и $2,1 \text{ г/см}^3$. Снижение скорости перемешивания пульпы при пероксидном осаждении отрицательно сказывается на регулировке рН осаждения и на однородности получаемого осадка по химическому составу, и в конечном счете, снижает качество ЗОУ. Для достижения оптимального режима осаждения пероксида урана необходимо вести процесс при высокой интенсивности перемешивания;
 - определено что при продолжительности выдержки пульпы не более 1 часа по окончании подачи растворов пероксида водорода и щелочи приводит увеличению скорости фильтрации пульпы и насыпной плотности ЗОУ;
 - при изменении рН осаждения пероксида урана с 3,5-3,6 до 1,5-2,0 насыпная плотность ЗОУ увеличилась с 2,0 до $2,5 \text{ г/см}^3$, содержание железа в ЗОУ снизилось с 0,058% до 0,001%.
 - в реакторах каскадного осаждения с целью поддержания оптимального температурного диапазона смонтировано теплообменное оборудование. Использование системы охлаждения в процессе осаждения позволяет, позволяет получить готовую продукцию заданного качества.
- Исследовано влияние режимов термического разложения пероксида урана на насыпную плотность ЗОУ:
 - установлено что при продолжительности прокаливания 1ч насыпная плотность с утряской порошка ЗОУ составила $2,1 \text{ г/см}^3$, содержание урана в ЗОУ - 84,27%, дальнейшее увеличение времени прокалики до 1,5ч не привело к изменению полученных результатов;
 - снижение влажности пероксида урана до 15% позволило оптимизировать процесс сушки, прокалики и получить готовую продукцию экспортного качества.
 - Из исследованных параметров наиболее значимое влияние на параметр «насыпная плотность» оказывают рН процесса осаждения пероксида урана, интенсивность перемешивания пульпы, время выдержки пульпы, температура прокалики, влажность пероксидного кека.
 - Для увеличения насыпной плотности ЗОУ в промышленных условиях кроме температурного режима и продолжительности прокаливания оптимизирована степень загрузки печи и рассмотрена возможность установки в печь вытеснителя для уплотнения порошка по мере его продвижения во вращающейся реторте печи.
 - Проведено морфологическое исследование частиц пероксида урана и ЗОУ: по данным микроскопического анализа средний размер частиц порошка пероксида урана составил 2,04 мкм, средний размер частиц порошка ЗОУ, полученного с использованием NaOH - 1,81 мкм.
 - Применение данных технических решений позволило получить продукт с высокими физическими свойствами (насыпная плотность) и получить экономию по количеству транспортно упаковочных контейнеров (ТУК-44/8), упаковочно-транспортным и экспедиторским затратам, примерно на 10%.

Экономический эффект составляет 10 592,38 тыс.тг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Б. Бекенов, В.Н. Аркатов, В.А. Тихонов, М.У. Джемисова. Рационализаторское предложение на тему «Заполнение ТУК-44/8 большим объемом ЗОУ», Алматы, 2012 г.
2. М.У. Джемисова, А.С. Кемельбаева, Б.О. Дуйсебаев, М.С. Малимбаев, «Особенности сорбционной технологии переработки урансодержащих растворов», Труды научного семинара «Ядерный потенциал Казахстана», Алматы, 2005 г.
3. Д.И. Скороваров. Гидрометаллургическая переработка урановорудного сырья. - М.: Атомиздат, 1979 г.
4. Временный технологический регламент процесса получения закиси-оксида урана методом пероксидного осаждения из растворов товарных десорбатов месторождения «Буденовское-2».
5. Е.С. Бугенов, О.В. Василевский, А.П. Патрин. Физико-химические основы и технология получения химических концентратов природного урана.
6. А.Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии, Москва, 1973.
7. Рабочий проект «Промышленная добыча урана методом ПСВ на месторождении Буденовское-2» Степногорск-2008 г.
8. СТ ТОО ГРК 3.01-2009. Технологические регламенты на типовые технологические процессы производства продукции (полупродуктов).

МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ПСВ
НА РУДНИКЕ «СЕМИЗБАЙ»

Хан А.П.

ТОО «Семизбай-У», Астана, Казахстан

1. Опытные работы по бактериальному выщелачиванию

В период активного выщелачивания наиболее эффективным окислителем урана является железо (3⁺). В настоящее время проводится опыт по окислению железа (2⁺) в железо (3⁺) применением бактерий *Thiobacillus ferrooxidans* которые в процессе своей жизнедеятельности в присутствии кислорода воздуха окисляют железо (2⁺) в железо (3⁺).

Оптимальными условиями для обеспечения жизнедеятельности бактерий является температурный режим в диапазоне от 15 до 40 °С, присутствие в рабочем растворе двух валентного железа, насыщение раствора кислородом воздуха и присутствие свободной серной кислоты концентрацией 4-20 г/л.

Химический состав выщелачивающих растворов рудника «Семизбай» представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав выщелачивающих растворов рудника «Семизбай»

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
1	Температура	°С	6-15
2	Концентрация H ₂ SO ₄	г/л	3-5,5
3	ОВП	мэВ	200-250
4	рН	-	1,5-2,0
5	Концентрация Fe ²⁺	г/л	3,4-3,7
6	Концентрация Fe ³⁺	г/л	0,06-0,11

Из таблицы 1 видно, что выщелачивающие растворы рудника «Семизбай» характеризуются высоким содержанием 2-х валентного железа в них и относительно низким ОВП. Хотя известно, что для обеспечения оптимальных условий для проведения процесса ПСВ урана необходимо значение ОВП не менее чем 400-450 мэВ. Для проведения опыта по применению бактериального выщелачивания на руднике «Семизбай» на УППР рудника была смонтирована установка, состоящая из емкостей объемом 1 м³ в количестве 9 штук. В нижней части каждой емкости имеется сливной патрубков, все патрубки соединены в общий коллектор, готовый (окисленный) раствор из которого поступает в отстойник ВР. В целях обеспечения стабильного температурного режима при перепадах температур день-ночь и зима-лето установка смонтирована в здании ЦППР. Для обеспечения наличия кислорода в растворе применяется сжатый воздух от общей системы сжатого воздуха ЦППР. Подача сжатого воздуха в емкости осуществляется путем шланга Ду-5 снабженного отверстиями на конце и заглубленного в емкость. Режим работы установки непрерывно-периодический, т.е. после того, как емкости были заполнены выще-

лачивающими растворами и в них начата подача воздуха, растворы в емкость не поступают и не сливаются из нее. Определение качества процесса окисления производится следующим образом:

1. Визуально определяется цвет раствора, который должен измениться от светло-зеленого до темно-коричневого.
2. После изменения цвета отбирается проба раствора для анализа в ФХЛ.

Контролируемыми параметрами в процессе окисления выщелачивающих растворов были рН, ОВП, концентрация железа $2^+/3^+$ и кислотность. После того, как по результатам химического анализа значение ОВП будет не менее, чем 400 мэв, а значение концентрации 3-х валентного железа не менее 2 г/л раствор из емкости сливается. Раствор из емкости сливается не полностью, в емкости в обязательном порядке остается от 100 л до 200 л в качестве источника бактерий для последующего окисления, вновь залитого раствора.

Работы по окислению 3-х валентного железа в 2-х валентное были начаты в январе 2011 года и проводились по октябрь 2013 г. За все время непрерывной работы установки в карту ВР было подано ~871 м³ окисленного раствора. Химический состав окисленного раствора представлен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав окисленных выщелачивающих растворов рудника «Семизбай»

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
1	Температура	°С	6-15
2	Концентрация H ₂ SO ₄	г/л	3,0-5,5
3	ОВП	мэв	400-590
4	рН	-	1,5-2,0
5	Концентрация Fe ²⁺	г/л	0,0-0,3
6	Концентрация Fe ³⁺	г/л	3,4-3,7

Из данных приведенных в таблице 2 видно, что в растворах подвергшихся воздействию бактерий 2-х валентное железо практически полностью переводится в 3-х валентное, при этом возрастает значение ОВП до требуемого значения для создания оптимальных условий выщелачивания урана.

Благодаря действию бактерий в выщелачивающем растворе происходит окисление 3-х валентного железа, и достигаются благоприятные условия для выщелачивания урана находящегося в не окисленных формах, тем не менее, метод выщелачивания урана с применением бактерий носит ряд недостатков:

1. Длительное время окисления. Это особенно актуально в условиях рудника «Семизбай», где температура выщелачивающих растворов в разное время года колеблется от 6 до 14 °С, тем самым время окисления составляет от 3 до 7 суток соответственно. Более того, в зимнее время года процесс окисления настолько инертен, что требует дополнительного подогрева раствора для обеспечения жизнедеятельности бактерий.

2. Большое количество задействованного емкостного оборудования.
3. Необходимость повышенных значений концентрации серной кислоты в выщелачивающих растворах для обеспечения протекания реакции:



И в случае недостаточного количества серной кислоты в выщелачивающих растворах лимитирующей стадии окисления железа становится наличие серной кислоты в растворе.

2. Опытные работы по применению пероксида водорода при ПСВ урана

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В период активного выщелачивания наиболее эффективным окислителем урана является железо (3⁺). В настоящее время проводится промышленный опыт по окислению железа (2⁺) в железо (3⁺) пероксидом водорода. Главным достоинством этого способа являются техническая простота и экологическая безопасность, т.к. побочным продуктом процесса окисления является только вода.

Существенным недостатком использования пероксида водорода является его высокая стоимость, однако ввиду экологической безопасности он является практически единственным окислителем.

Проведение ПСВ урана с применением окислителей позволяет существенно сократить срок отработки месторождения, вследствие чего, достигается существенное снижение себестоимости урана.

Пероксид водорода может применяться при ПСВ урана в двух случаях: на стадии закисления – в качестве окислителя урана и содержащихся в пласте восстановителей; на стадии активного выщелачивания – в качестве окислителя Fe²⁺ в Fe³⁺. Способ введения пероксида водорода в ВР и его концентрация зависят от стадии процесса.

Выщелачивание урана с использованием окислителя можно разделить на 3 стадии:

- 1-я стадия характеризуется сложившимся до подхода растворов с искусственным окислителем ОВП на уровне 250÷300 мВ.
- На 2-ой стадии наблюдается рост ОВП в ПР на 50÷100 мВ. Продолжительность периода зависит от концентрации органики в пласте и в среднем составляет около 3-х месяцев. В это время в пласте формируется окислительная геохимическая обстановка.
- На 3-й стадии (непосредственно стадия работы окислителя) ОВП в ПР стабилизируется на уровне 420÷450 мВ. Соотношение концентраций Fe³⁺ и Fe²⁺ в ПР должно составлять около 1,0. На этой стадии, концентрация серной кислоты в ВР должна обеспечивать остаточную кислотность в ПР на уровне 3÷5 г/л.

Необходимым условием работы окислителя является создание в ВР ОВП на уровне 400÷500 мВ. Кроме того, окислитель должен подаваться в достаточном количестве, для чего необходимо наличие в ВР $Fe_{\text{общ}} > 500 \text{ мг/дм}^3$ (соответственно, в ПР – $Fe^{3+} > 250 \text{ мг/дм}^3$, $pH = 1,5 \div 1,7$).

Если учитывать, что к моменту начала подачи окислителя в пласт, содержание урана в ПР начало снижаться, то в качестве критериев оценки положительного действия окислителя можно принять:

- Содержание урана в ПР на стадии работы окислителя должно стабилизироваться либо возрасти. Прогнозируется прекращение падения содержания урана в растворе, либо появление пика (прирост от 20 до 100 % и выше в зависимости от исходной окисленности участка).
- Повышение месячного прироста извлечения урана по сравнению со среднестатистическим для данных значений Ж:Т.

Применение пероксида водорода на руднике «Семизбай»

С 2010 года на руднике «Семизбай» применяется в качестве окислителя 2-х валентного железа в 3-х валентное пероксид водорода. Подача пероксида водорода осуществлялась на блоках с различной степенью отработки при различной кислотности в выщелачивающих растворах. Контролируемыми параметрами свидетельствующем о необходимом количестве подаваемого на окисление пероксида водорода было значение ОВП или концентрация 3-х валентного железа. Подача пероксида водорода осуществлялась периодически на различные блока геотехнологического полигона. Результаты по изменению технологических параметров работы геотехнологических блоков при подаче окислителя различны и зависели от степени отработки блоков концентрации серной кислоты при подаче окислителя, времени и количества подаваемого окислителя. В следствие низкого коэффициента фильтрации среднее время прохождения растворов от закачной до откачной скважины на месторождении «Семизбай» составляет от 15 до 25 суток.

Результаты полученные при применении пероксида водорода на технологическом блоке № 1 (УППР 1-2, 2-2)

Дата	01.04.10	01.05.10	01.06.10	01.07.10	01.08.10	01.09.10	01.10.10	01.11.10	01.12.10
Содержание U (по УППР 2-2), мг/л	76	50	66	82	143	109	108	79	88
V ВР (по УППР 2-2), м ³	996,3	877	986	979,9	1204,0	1125,0	1215,0	1116,0	1093,0
pH (по УППР 2-2)	1,63	1,75	1,6	1,55	1,39	1,49	1,56	0	1,54
ОВП (по УППР 2-2)	319	309	321	301	323	312	310	0	295
Кислотность (по УППР 2-2), г/л	12,75	10,535	10,42	20,9	15,68	15,2	13,97	10,54	9,675
Содержание U (по УППР 1-2), мг/л	54	40	42	52	59	45	48	59	43

V ВР (по УППР 1-2), м ³	0	0	0	963,5	1042	1123	1118	993	1207
pH (по УППР 1-2)	1,64	1,72	1,56	1,45	1,38	1,54	1,6	0	1,56
ОВП (по УППР 1-2)	318	311	324	322	323	309	308	0	294
Кислотность (по УППР 1-2), мг/л	12,75	10,535	10,42	19,7	14,7	17,6	13,48	12,5	8,085

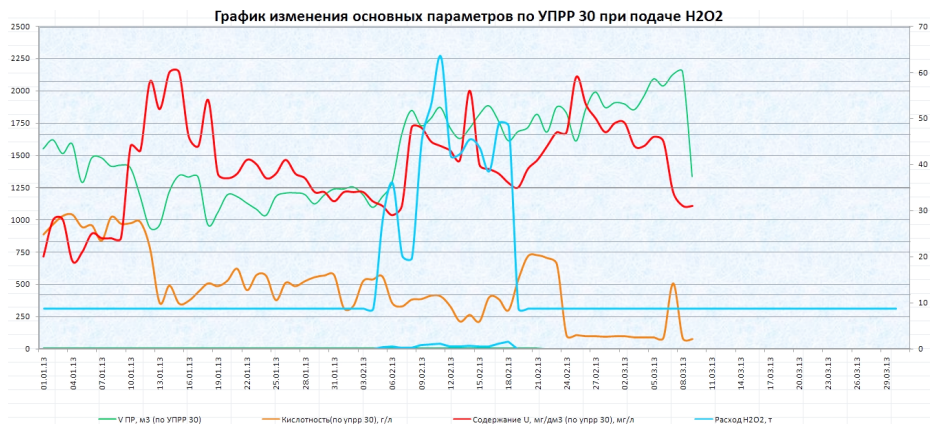
С 01.04.2010 года по 30.12.2010 года на УППР 1-2 блока № 1 и на УППР 2-2 была проведена работа по влиянию пероксида водорода на процесс выщелачивания урана методом ПВ. На УППР 1-2 пероксид водорода не подавался, выщелачивание производилось при кислотности 10-20 г/л, а на УППР 2-2 совместно с ВР, кислотностью 10-20 г/л подавался пероксид водорода в количестве 0,5 л H_2O_2 /м³ ВР, с одновременным увеличением концентрации серной кислоты в выщелачивающих растворах 10-20 г/л. На УППР 1-2 концентрация урана в растворах ПР увеличилась незначительно. На УППР 2-2 через 15 дней с момента подачи пероксида водорода наблюдался интенсивный рост концентрации урана в растворах ПР, пик которого приходится на начало августа. После дальнейшего снижения концентрации серной кислоты до 10-12 г/л, резкого снижения концентрации урана в растворах ПР не наблюдалось вплоть до конца года.

Вывод: Данные полученные в результате подачи пероксида водорода на УППР 2-2 и выщелачивания без пероксида водорода на УППР 1-2 однозначно интерпретировать не является возможным, так как одновременно с началом подачи окислителя на выщелачивание в данный блок происходило увеличение кислотности выщелачивающих растворов. Тем не менее при работе с пероксидом водорода в качестве окислителя на УППР 2-2 позволило достичь увеличения концентрации урана в растворах по сравнению с УППР 1-2, где в выщелачивающий раствор пероксид водорода не подавался.

Результаты полученные при применении пероксида водорода на УППР-30

Дата	01.01.13	09.01.13	17.01.13	25.01.13	02.02.13	10.02.13	18.02.13	26.02.13	06.03.13
Содержание U, мг/л	20	24	44	38	34	45	36	53	45
pH	2,17	1,44	1,73	1,68	1,94	1,68	1,76		
Кислотность, г/л	24,87	27,2	12,375	10,54	9,315	11,52	8,335	2,7	2,33
Расход H_2O_2 , л	0	0	0	0	0	818,595	726,608	0	0
ОВП				353	329	365	364		
V ПР, м ³	1550	1424	1331	1178	1255	1783	1613	1855	2036

В период с 01.01.13 г. по 09.03.13 г. на УППР-30 подавался пероксид водорода из диаграммы видно, что при выщелачивании серной кислотой концентрацией 20-25 г/л без пероксида водорода происходит рост концентрации урана в продуктивных растворах. А при выщелачивании серной кислотой с концентрацией 10-12 г/л происходит снижение концентрации урана в продуктивных растворах. Подача пе-



роксида водорода при кислотности 10-12 г/л в выщелачивающие растворы влечет за собой увеличение концентрации урана в продуктивных растворах.

Вывод: Применение пероксида водорода на УПРР-30 показало, что в результате произошел рост концентрации урана в продуктивных растворах при не изменой кислотности, тогда как без пероксида водорода при данной кислотности происходило падение концентрации урана в продуктивных растворах.

Результаты полученные при применении пероксида водорода на УПРР-29

Дата	01.01.13	07.01.13	13.01.13	19.01.13	25.01.13	31.01.13	06.02.13	12.02.13	18.02.13
Содержание U, мг/л	72	60	73	74	83	83	86	72	62
V ВР, м3	1631	1937	1817	2189	2204	2332	2076	1802	2384
pH	1,45	1,48	1,4	1,32	1,55	1,89	1,62	1,66	1,76
Кислотность, г/л	29,89	27,565	9,93	12,62	12,495	16,05	9,925	9,19	11,885
Расход H ₂ O ₂ , л	0	0	0	0	0	0	532,308	512,023	1067,303
V ПР, м3	2127	2080	2406	2534	2677	3018	3396	3224	3890

Выщелачивание урана из руд методом ПВ на УПРР-29 в период с 01.01.13 г. по 09.03.13 г. показало, что при выщелачивании серной кислотой, кислотностью 25-30 г/л в период с 01.01.2013 по 12.01.2013 г., концентрация урана в продуктивном растворе растёт и далее идет на снижение при кислотности 10-12 г/л. В момент снижения концентрации урана, добавление пероксида водорода в период с 06.02.13 по 25.02.13 г. в количестве 2,6 т. H₂O₂ прерывает этот спад и далее содержание урана в ПР снова начинает расти (с 20.02.13 г. концентрация урана в ПР начинает расти с 60 мг/л до 80 мг/л), вплоть до снижения кислотности в ВР.

Вывод: Подача пероксида водорода на УПРР-29 показала, что при концентрации серной кислоты 10-12 г/л в выщелачивающих растворах без пероксида водорода

концентрация урана в продуктивных растворах снижается но при подаче пероксида водорода при данной кислотности концентрация урана в продуктивных растворах начинает увеличиваться.

3. Выводы

1. ПСВ урана с применением бактериального выщелачивания в промышленных масштабах не приемлем по причине необходимости строительства реакторов для обеспечения необходимого времени контакта бактерий с кислородом воздуха перед их подачей на ГТП.

По состоянию на начало 2013 г. количество растворов пропускаемых через сорбционный передел ЦППР составляет 36 000 м³ или 1 500 м³/час. Объем отстойника выщелачивающих растворов ЦППР рудника «Семизбай» составляет 3 000 м³, для обеспечения времени нахождения выщелачивающих растворов в отстойнике даже на 2-е суток потребует строительства отстойника объемом 1500 x 48 = 72 000 м³, при этом весь этот объем отстойника будет необходимо аэрировать и не допускать переохлаждения.

2. Применение пероксида водорода положительно сказывается на концентрацию урана в продуктивных растворах при условии, что концентрация серной кислоты в выщелачивающих растворах будет поддерживаться не менее 10-15 г/л, также позволяет сократить сроки отработки, увеличивают полноту выемки полезного компонента и обеспечивают добычу урана в более короткий срок.

3. Интенсивность роста концентрации урана в продуктивных растворах на разных блоках имеет различную степень интенсивности и по-видимому зависит от содержания в руде 6-ти валентного и 4-х валентного урана, и кислотности в выщелачивающих растворах.

4. Применение пероксида водорода на руднике «Семизбай» продолжается, со сбором и обработкой необходимых данных, для выявления и определения наиболее оптимальных технологических режимов ПСВ урана с использованием пероксида водорода.

УСЛОВИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТУРЫ КНД НА РУДНИКАХ СКВАЖИНОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Щебельников А.А.

АО «ВОЛКОВГЕОЛОГИЯ» РК, г. Алматы

1. Современная методика определения содержания урана

Определение мощности рудных интервалов и средних содержаний в них урана является основной задачей ГИС на скважинах пластово-инфильтрационных месторождений урана. На сегодняшний день эта задача решается с помощью количественной интерпретации гамма-каротажа.

Существует два способа количественной интерпретации данных ГК: интегральный и дифференциальный.

Интегральный способ интерпретации - позволяет определять мощность рудных тел, а также среднее значение концентрации урана (радия) по рудному интервалу. Дифференциальный способ интерпретации - позволяет определять концентрацию урана (радия) по отдельным интервалам равным 10 см. Этот способ используется в настоящее время.

Т.к. эти величины статистические, то для точного их определения необходимо огромное количество работ, которые связаны с большими затратами.

Поправки за радиоактивное равновесие (K_{pp} - коэффициент радиоактивного равновесия) являются наиболее значимыми, так как радиоактивность радия и радона на порядки больше, чем радиоактивность урана.

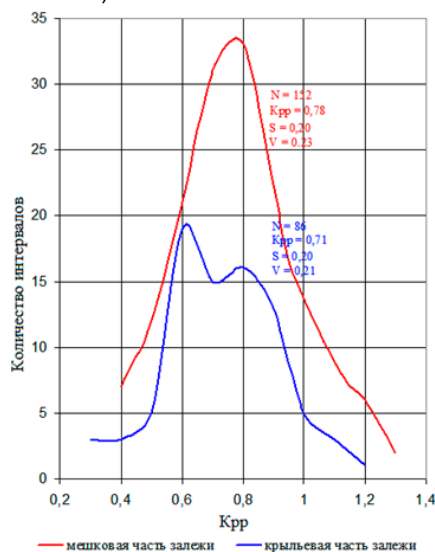


Рисунок 1. Вариационные графики распределения K_{pp} в мынкудукском продуктивном горизонте

Ясно, что в каждой точке месторождения, где скважины вскрывают рудоносные пласты, абсолютно точно оценка K_{pp} не производится. Поэтому естественно, что даже при зависимости, полученной при исследовании огромного количества образцов, будут закрадываться ошибки за счет не точного определения K_{pp} . Отсюда имеет место не точное определение содержания урана. И, в целом, это сказывается на общем подсчете запасов, что крайне проблематично с точки зрения экономики. Кроме того сам K_{pp} на одном месторождении изменяется в довольно широких пределах, что можно увидеть на рисунке 1.

Как видно из графиков ошибка определения K_{pp} в среднем около 20%. Это весьма существенно, т.к. тогда расчет массовой доли урана также будет составлять 20%, без учета ошибок за другие поправки.

2. Каротаж методом мгновенных нейтронов деления (КНД-м)

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Методы нейтронного каротажа основаны на облучении горных пород потоком нейтронов и измерении временных характеристик, по которым исследуется их пространственно-энергетическое распределение.

Нейтрон - элементарная частица, не имеющая электрического заряда. Нейтрон является фермионом и принадлежит к классу барионов. Атомные ядра состоят из нейтронов и протонов. Устойчив только в состоянии ядра. В свободном состоянии распадается на протон, электрон и антинейтрино. Время жизни в свободном состоянии ≈ 12 минут.

Осуществление регистрации нейтронов различной энергии производится путем включения детектора на небольшие промежутки времени после импульса быстрых нейтронов, направляемых в горную породу от импульсного генератора нейтронов.

2.2. Отличительные особенности метода КНД-м

КНД-м является одной из модификаций импульсного нейтронного каротажа. Принципиальное его отличие от ИНК (в общем понимании метода) заключается в том, что при КНД-м измеряется плотность потока нейтронов, не непосредственно от скважинного импульсного генератора после их замедления и термализации, а плотность потока мгновенных нейтронов деления, генератором которых является урановая руда, которая может рассматриваться как природный генератор быстрых нейтронов. Сущность метода заключается в следующем. Если в урановую руду поместить генератор (рисунок 3.3), работающий в импульсном режиме (частота 20 Гц, длительность нейтронного импульса 2 мкс), то сразу после прекращения импульса в среде будут находиться быстрые нейтроны источника и мгновенные нейтроны деления ядер урана-238 и тория-232, (порог реакции около 1,4 МэВ). В результате взаимодействия со средой и те и другие замедляются за время 100-200 мкс до тепловых с наиболее вероятной энергией около 0,025 эВ. Под действием тепловых нейтронов происходит деление ядер урана-235, сопровождающееся испусканием мгновенных нейтронов n_{mg} со средней энергией около 2 МэВ.

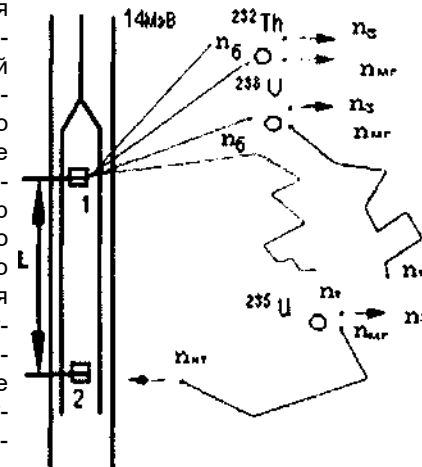


Рисунок 2. Схема формирования поля быстрых n_b и тепловых n_t над-тепловых n_{mt} запаздывающих n_3 и мгновенных n_{mg} нейтронов вокруг скважинного прибора:

1. генератор нейтронов;
2. детектор;
- L. длина зонда.

Физико-математический анализ поля МНД показывает, что практически весь эффект создают мгновенные нейтроны деления урана-235.

Определение содержаний урана основано на существующем в природе постоянном соотношении между изотопами урана-235 и 238.

Замедляясь в породе до надтепловых энергий в диапазоне 0,7 эВ до 1 кэВ, последние упомянутые мгновенные нейтроны регистрируются детектирующим устройством экранированного кадмием скважинного прибора АИНК-60 в интервале времени $\Delta t_{\text{н}}$ равном 2048 мкс.

Временно-энергетическая характеристика метода, наглядно иллюстрирующая вышеизложенный принцип действия метода КНД-м, реализованного в аппаратуре АИНК-60 приводится на рисунке 3.4.

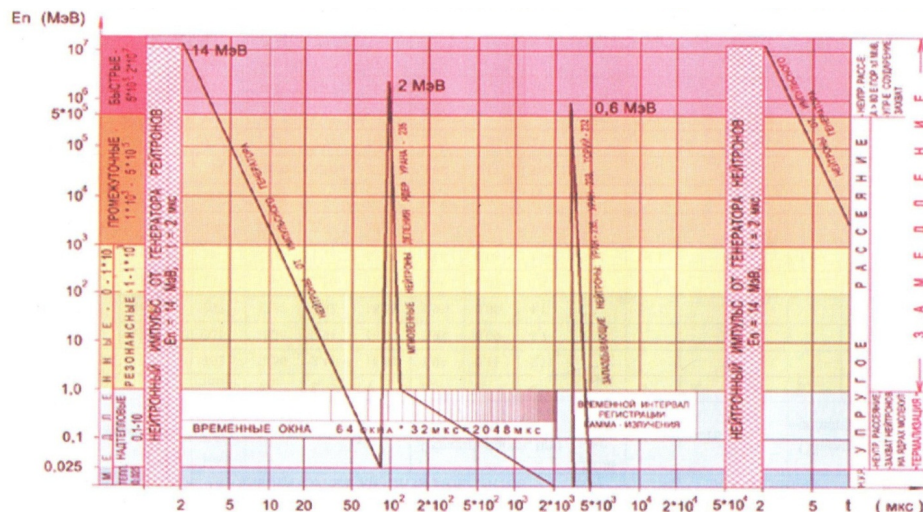


Рисунок 3. Схематическая временно-энергетическая модель КНД-м

Скважинный прибор в зависимости от его конструктивных особенностей может иметь один или два детектора. И работы соответственно могут выполняться по одно- либо двухзондовой методике. По однозондовой методике по данным КНД-м определяются лишь содержания урана и радия в условиях их естественного залегания. По двухзондовой методике кроме того определяются влажность руд, объемная плотность и глинистость пород, т.е. сумма фракций от 0,05 мм и меньше.

Для определения содержаний урана достаточно измерить два сигнала N_1 и N_2 от первого детектора. Для определения кроме урана влажности, плотности и глинистости - три сигнала N_1 , N_2 , N_3 . Сигналы N_1 и N_2 регистрируются, как и в первом случае, первым детектором, а N_3 - вторым.

Сравнительная характеристика КНД, ГК и данных опробования

Из принципа метода КНД-м ясно, что наблюдаемые мгновенные нейтроны в данном промежутке времени создаются исключительно при делении урана-235. Действительно, деление урана-238 быстрыми нейтронами происходит только в течение нескольких десятков наносекунд после окончания нейтронного импульса, поэтому за время блокировки регистрации импульсов, составляющего несколько десятков микросекунд, мгновенные нейтроны деления урана-238 практически одновременно с нейтронами источника достигают тепловых скоростей и не будут регистриро-

ваться детектором. По той же причине и наличие тория не создает заметного эффекта, т.е. измеряемая при проведении КНД-м скорость счета потока нейтронов не содержит в себе информацию о содержании в рудах радия, тория, радиоизотопа калия. И результаты интерпретации по определению содержаний урана, в отличие от интерпретации данных гамма-каротажа, не требуют их корректировок на радиоактивное равновесие между ураном, радием и дочерними продуктами их распада. Именно это обстоятельство и является определяющим при выборе места и роли метода в комплексе геофизических работ, проводимых как при разведке пластово-инфильтрационных месторождений урана, так и при их отработке способом подземного выщелачивания (ПВ).

Как обязательный, метода КНД-м возможно и необходимо проводить:

1. на стадии сооружения технологических блоков (не менее 20% скважин);
2. в комплексе с методом индукционного каротажа при отработке проблемных блоков, отслеживая равномерность извлечения урана;
3. на отработанных блоках, с целью отследить полноту извлечения урана по контрольным скважинам;

В первом случае, КНД-м заменяет собой извлечение керна, что существенно уменьшает время, затраченное на бурение скважины. По результатам данных КНД-м производится подтверждение подсчитанных запасов.

Индукционный каротаж, используемый для решения ряда технологических задач по перемещению рабочего раствора в продуктивном пласте в комплексе с КНД-м, может быть использован для исследования проблемных блоков, где процесс закисления отличен от привычной схемы. Возможно это потому, что в процессе выщелачивания в продуктивные растворы переходит лишь уран. Радий же вместе с короткоживущими продуктами его распада, являющимися основными гамма-излучателями в урано-радиевом ряду (висмут-214, свинец-214) практически остается на месте залегания. Естественно, это приводит к резкому смещению радиоактивного равновесия между ураном и радием, которое, в конечном счете, может оказаться отличающимся от равновесного на несколько порядков. Поскольку величина этого смещения в каждом конкретном случае практически не прогнозируема, то и погрешность определения средних содержаний урана по данным гамма-каротажа может достигать таких значений, когда определения эти уже теряют практический смысл. Определения по данным КНД-м содержаний природного урана по урану-235 основаны на существующем в природе постоянном соотношении между изотопами: $^{238}\text{U}=99,274$, $^{235}\text{U}=0,7196$ и $^{234}\text{U}=0,0057\%$ общего числа атомов всех изотопов.

Еще одной стадией для применения КНД является процесс контроля полноты извлечения урана. Для осуществления контроля, рядом с технологической скважиной бурится контрольная скважина, в которой и проводят каротаж по мгновенным нейтронам деления. Количество контрольных скважин приблизительно равно количеству технологических.

В таблице 1 представлены данные полученные по ГК и опробованию на одной из залежей рассматриваемого месторождения. Среднеквадратическое отклонение средних стволовых запасов урана от данных по керну составляет $\pm 23\%$, при допустимом значении 25%. Значение выборки при этом достаточно велико 139 интер-

валов. А относительное расхождение содержания урана -9.9%. При этом K_{pp} имеет значение близкое к 1, что может быть до начала эксплуатации.

Таблица 1. Результаты сопоставления данных гамма-каротажа и опробования керна на уран

Сопоставляемые параметры: мощность – М; стволовые запасы – МС; содержание – С;	Единицы измерения	Значения сопоставляемых параметров		Относит. расхожд. (%)	Значимость систематических расхождений		Средние квадратические расхождения	
		ОП	ГК		$t_{расч}$	$t_{табл}$	$S_{допус}$	$S_{факт}$
Залежь 4								
Количество интервалов	инт.	139	139					
Суммарная мощность	п.м.	402,1	406,4					
Средняя мощность	м.	2,89	2,92	-1,03	0,92	1,98	25 см	21,2 см
Суммарные стволовые запасы	м%	19,4605	17,7388					
Средние стволовые запасы	м%	0,1400	0,1276	-8,9	0,44	1,98	±25%	±23,0%
Средние содержания	%	0,0484	0,0436	-9,9				

В таблице 2 представлены данные полученные по КНД и опробованию на той же залежи рассматриваемого месторождения. Среднеквадратическое отклонение средних стволовых запасов урана от данных по керну составляет ±5,7%, при допустимом значении 25%. Значение выборки при этом достаточно велико 51 интервал. Относительное расхождение содержания урана составляет 5,4%.

Как и предполагалось, данные КНД-м дают более точное содержание урана и значения средних стволовых запасов, чем ГК, т.к. менее подвержены влиянию различного рода поправок и, в первую очередь, поправке за радиоактивное равновесие. Сравнивая эти данные видно, что КНД-м даже при нормальном значении K_{pp} (≈1) КНД-м дает лучшие результаты, чем ГК.

Таблица 2. Результаты сопоставления данных геологического опробования керна с результатами интерпретации КНД-м

Сопоставляемые параметры: мощность – М; стволовые запасы – МС; содержание – С;	Единицы измерения	Значения сопоставляемых параметров		Относит. расхожд. (%)	Значимость систематических расхождений		Средние квадратические расхождения	
		ОП	КНД-М		$t_{расч}$	$t_{табл}$	$S_{допус}$	$S_{факт}$
Залежь 4								
Количество интервалов	инт.	51	51					
Суммарная мощность	п.м.	184,3	184,9					
Средняя мощность	м.	2,8	3,01	-6,98	0,79	2,36	25 см	23,1 см
Суммарные стволовые запасы	м%	7,4590	7,0901					
Средние стволовые запасы	м%	0,1331	0,1358	-1,95	0,95	2,36	±25%	±5,7%
Средние содержания	%	0,0475	0,0451	5,4				

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ КАРБИДА УРАНА

Алдажаров Т.М., Хлебникова И.А.

АО «УМЗ» РК, г. Усть-Каменогорск

В настоящее время в мировой практике накоплен большой опыт работы с перспективными видами ядерного топлива (карбидами, нитридами урана) на исследовательских реакторах. Но, в связи с нестабильной экономической и политической ситуацией в мире стратегические цели и задачи в атомной промышленности могут изменяться; некоторые проекты закрываются, испытания различного рода ядерного топлива не проводятся.

Техническая сторона проблемы такова, что на сегодняшний день ни Минатом России, ни другие крупные международные атомные компании не имеют технологий для переработки некоторых видов ядерного топлива. Таким образом, в настоящее время, разработка технологии, позволяющая извлекать уран из различных его соединений, является необходимой для укрепления позиций в ядерной энергетике [1]. На сегодняшний день АО «УМЗ» обладает уникальной технологией, запатентованной в Республике Казахстан, позволяющей перерабатывать различные по виду и составу урансодержащие материалы.

Технология достаточно универсальна и состоит в переводе урана в раствор в виде уранилнитрата, экстракционном аффинаже от примесей, осаждении урана в виде полиураната аммония, сушке - термическом разложении и восстановлении с получением порошка диоксида урана ядерной чистоты керамического сорта.

В связи с тем, что на АО «УМЗ» возникла необходимость переработки уран-карбидного топлива (УС), находящегося в стержнях покрытых оболочкой из циркония, с получением урансодержащего продукта соответствующего требованиям заказчика, в лаборатории урана ЦНИЛ были проведены научно-исследовательские работы для определения оптимальной схемы переработки уран-карбидного топлива.

Обзор свойств уран-карбидного топлива и способов его получения показал, что перевод топлива в водный раствор минеральных кислот представляется проблематичным, в связи с крайне медленной скоростью реакции [2].

Информация о промышленных способах переработки уран-карбидного топлива крайне ограничена, что затрудняло проведение исследовательских работ и практическое осуществление его переработки в промышленных условиях.

На рисунке 1 представлен материал, поступивший на переработку. Указанный материал представлял собой металлические стержни длиной около 0,40-0,45 м. Диаметр стержней находился в пределах значений 10–20 мм, толщина оболочки около 1 мм.

Одной из основных операций технологии переработки материала является операция перевода урана в растворенное состояние. Основной целью разрабатываемой технологии являлось максимально полное извлечение урана с возвратом стратегически важного материала в ядерно-топливный цикл.

При проведении работ в первую очередь была рассмотрена возможность растворения пробы уран-карбидного топлива в различных кислотах и определения пригодности полученных растворов для экстракционного аффинажа.



Рисунок 1. Фронтальный и поперечный вид стержней

В частности в лабораторных условиях ЦНИЛ были проведены эксперименты по определению возможности перевода УС в азотнокислый раствор урана.

На первом этапе определяли оптимальную концентрацию азотной кислоты и температурный режим растворения топлива. При проведении экспериментов использовали пробы УС диспергированного до частиц размером 1-3 мм. При растворении варьировали концентрацию азотной кислоты в пределах 100-300 г/л при соотношении Т:Ж=1:3. На основании результатов экспериментов был определен оптимальный режим растворения: концентрация азотной кислоты в растворе 250 г/л, температура реакции 90°C, при постоянном перемешивании.

Однако при растворении компактного УС в оболочке скорость реакции была незначительной, с целью увеличения скорости реакции концентрацию азотной кислоты увеличили до 300 г/л.

Согласно данным научно-технической информации [3] при переработке стержней ПЯТ производят их резку на фрагменты с последующим растворением в азотной кислоте.

Для определения возможности переработки стержней с карбидом урана было проведено тестирование химической стойкости оболочки в азотной кислоте. В процессе испытаний использовали растворы азотной кислоты концентрацией 200 и 400 г/л при температуре 90°C. В результате испытаний было установлено, что при выдержке оболочки в растворах азотной кислоты указанной концентрации в течение 48 часов коррозия оболочки минимальна, что делает возможным извлечение УС топлива из оболочки путем растворения его в азотной кислоте.

При проведении экспериментов по указанному режиму было отмечено, что после трех часов выдержки топлива в азотнокислой среде скорость реакции растворения резко снижается, а после 4-х часовой выдержки реакция прекращалась, при этом концентрация азотной кислоты в растворе составляла 56,7 г/л.

Для интенсификации процесса растворения известен способ взаимодействия УС с азотной кислотой с концентрацией ниже 4,0 моль/л, с введением в систему азотистой кислоты HNO_2 [4].

В связи с отсутствием данного соединения были проведены эксперименты, в ходе которых в раствор азотной кислоты вводили KNO_2 в количестве 0,02 г на 1 г HNO_3 . Введение в растворитель азотистого калия способствовало увеличению скорости растворения УС, средняя скорость растворения составила ≈ 35 масс.%/ч, отделе-

ние оболочки от топлива происходило менее чем за 1 час. Полученные растворы тестировали на пригодность к аффинажному процессу.

Анализ полученных результатов позволил сделать заключение, что переработка УС стержней путем растворения топлива в азотной кислоте достаточно проблематична, так как полученные растворы непригодны для ведения экстракционного аффинажа.

При проведении исследований была рассмотрена возможность диспергации УС в воде. Из источников научно-технической информации известно, что карбиды урана легко разлагаются водой [5].

С целью отработки режимов вскрытия материала были проведены эксперименты, в ходе которых определяли влияние температуры воды на скорость разложения карбидов урана. В процессе реакции разложения карбида урана фиксировалась температура и в случае её снижения, проводился нагрев системы. Через определенные промежутки времени пробы материала извлекали из раствора и фиксировали массу. По значению изменения массы материала рассчитывали скорость реакции гидролиза. Проводили косвенную оценку состава выделяющихся газов. После окончания гидролиза жидкую фазу отделяли от остатка путем фильтрования через бумажный фильтр.

В процессе экспериментов пробы УС (без оболочки) погружали в воду (массовое соотношение Т:Ж=1:1) при вариации температурного режима: 20° и 90°С. Было установлено, что при комнатной температуре разложение УС практически не происходит (скорость реакции не более 0,2 масс.%/ч). Реакция разложения УС является экзотермической, для инициирования реакции необходимо повышение температуры среды до 50-55°С, далее за счет саморазогрева температура воды повышалась до 60-75°С. Для количественного разложения УС температура воды не должна быть ниже 80°С.

На следующем этапе были проведены испытания, в ходе которых изучали процесс разложения карбида урана в оболочке в воде при температуре 90°С. Полное разложение пробы прошло за 8 часов, средняя скорость разложения составляла 12,5 масс.%/ч.

В процессе взаимодействия карбида урана с водой имело место образование нерастворимых в воде соединений урана (IV) и (VI) элементарного углерода.

После разложения карбида урана (фрагменты стержня УС в оболочке и без оболочки) образовавшийся порошок $U(OH)_4$ посредством фильтрации отделяли от водного раствора и растворяли в азотной кислоте. Загрузка растворяемого материала и выщелачивающего агента в зону реакции осуществлялась дозировано, полное время растворения $U(OH)_4$ составляло 0,3 ч. Полученные растворы имели желтый или желтовато-коричневый цвет и были ограничено пригодны для экстракционной очистки.

Необходимо особо отметить, что при взаимодействии УС с водой процесс гидролиза происходит с выделением метана, водорода, а также небольших количеств высших углеводородов.

В настоящее время при получении порошков оксидов урана в производственных условиях выделяющиеся пары, газы, аэрозоли из сборников и аппаратов поступа-

ют в вентиляционные системы на газоочистку. Наиболее часто используется «мокрая» система газоочистки.

С целью снижения образовавшихся газов было опробовано разложение карбида урана в воде в присутствии окислителей - пероксида водорода и нитрита калия. В присутствии окислителей отмечено снижение количества выделяемого газа, образующийся газ не поддерживал горение, то есть являлся углекислым газом (CO_2). В процессе реакции с указанными добавками компактное УС топливо диспергировалось на частицы размером менее 1 мм, образования элементарного углерода не наблюдалось. Однако, после растворения в азотной кислоте полученной реакционной массы, растворы уранилнитрата имели интенсивный темно-коричневый цвет и были непригодны к экстракционному аффинажу урана.

В связи с тем, что указанные газы являются взрыво-, пожароопасными необходима разработка дополнительных мер безопасной работы при ведении процесса разложения, что ограничивает переработку уран-карбидного топлива в промышленных условиях по данному способу.

На следующем этапе исследований изучали возможность переработки карбидного топлива путем его окисления.

После анализа источников научно-технической информации, [6], [7] был предложен следующий способ переработки УС топлива.

Фрагмент стержня окисляли при температуре 680°С. В процессе окисления УС образующийся порошок U_3O_8 легко отделялся от образца, выделяющийся газообразный CO_2 способствовал распуханию оболочки, в результате чего через 1 час от начала процесса оболочка легко отделялась от топлива.

После отделения топлива от оболочки скорость окисления УС заметно снижалась, что, вероятно, связано с отсутствием давления газообразных продуктов окисления УС, способствующих диспергированию топлива. Средняя скорость окисления УС составляла 6,2 масс.%/ч.

Окисленный материал растворяли в азотной кислоте с получением необходимой концентрации урана и остаточной азотной кислоты в растворе ~100 г/л. Полученные растворы имели коричневый цвет. Проведение аналитического определения концентрации азотной кислоты в указанных растворах было затруднительным. Возможно, что в процессе окисления не было достигнуто полного перевода карбида урана в оксиды. Присутствие карбида урана в составе окисленного продукта при воздействии азотной кислоты способствовало появлению характерной для растворения карбида урана в азотной кислоте окраски.

Далее была опробована схема, предусматривающая предварительное измельчение топливных стержней.

Пробу материала определенной массы загружали в камеру измельчения станда вибрационного универсального СВУ-2Д. После заданной продолжительности время измельчения пробы определяли размеры частиц порошка с помощью ситового анализа. Пробу измельченного порошка растворяли в азотной кислоте и определяли пригодность раствора к экстракционному аффинажу.

Для интенсификации процесса окисления были проведены эксперименты, в ходе которых устанавливали постоянную подачу воздуха в зону термической обработки УС (ранее подача воздуха осуществлялась периодически). Было установлено, что при увеличении расхода воздуха скорость окисления УС топлива увеличивается незначительно (не более чем на 3%).

На следующем этапе было рассмотрено влияние размера частиц окисляемого продукта на скорость процесса. Так как реакция окисления карбида урана является твердофазной, то увеличение поверхности материала должно привести к увеличению скорости окисления. Увеличение поверхности материала возможно при его измельчении. Дробление УС топлива (фрагменты топлива без оболочки длиной 30 мм) проводили на стационарной вибрационной установке (СВУ-2Д) в течение 20, 40 и 60 секунд. В качестве мелющего тела использовали металлический шар массой 1,4 кг. Было установлено, что увеличение продолжительности процесса измельчения приводит к увеличению степени диспергирования УС. Так, при обработке материала в течение 40 секунд полученный материал представлял собой порошок с размером частиц 0,6-3,0 мм, а при обработке в течение 60 секунд – менее 0,6 мм.

Полученный измельченный материал окисляли при температуре 750°C при периодической подаче воздуха, отбирая каждый час пробу для определения полноты окисления. Полноту окисления измельченного материала оценивали по цвету раствора, полученного после растворения пробы окисленного материала в растворе азотной кислоты (желтый раствор - окисление полное, коричневый раствор - окисление неполное). Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

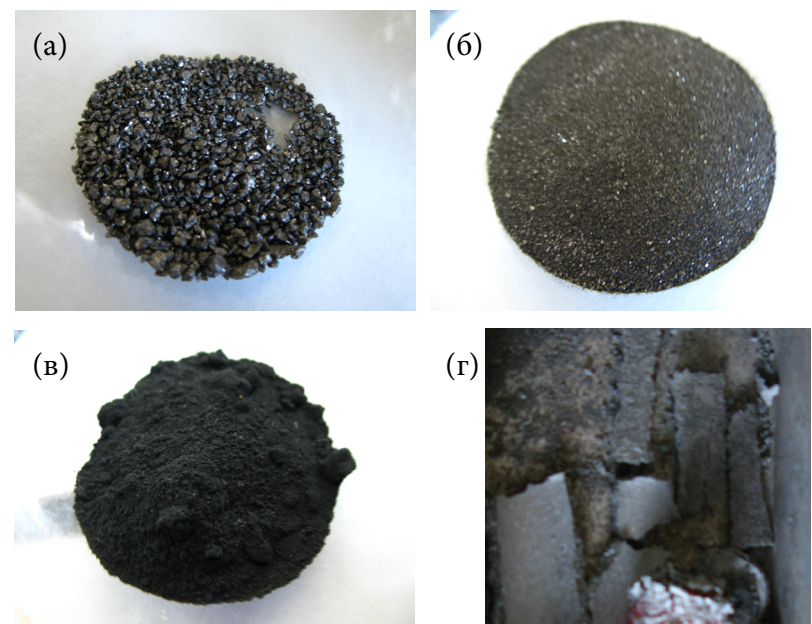
Таблица 1. Параметры окисления УС топлива

Фракция, мм	Продолжительность окисления, ч	Пригодность растворов к экстракционному аффинажу
менее 0,6	2	пригоден
0,6 - 3,0	3	пригоден
более 10	24 - 32	ограничено пригоден

Анализ данных, приведенных в таблице 1, показал, что после измельчения компактного УС топлива до частиц размером менее 3 мм, окисления при температуре 750°C в течение 3 часов и растворения окисленного продукта в азотной кислоте, полученный раствор уранилнитрата пригоден к экстракционной очистке.

В случае измельчения фрагментов УС в промышленном масштабе необходимо предусмотреть охлаждение камеры измельчения или проводить измельчение в инертной среде (продувка рабочей камеры газообразным азотом), так как существует вероятность разогрева и спонтанного окисления измельченного карбида урана. Полученный в результате порошок становится труднорастворимым в азотной кислоте.

На рисунке 2 приведен вид измельченного, прокаленного порошка карбида урана и фрагментов топлива, окисленного без предварительного измельчения.



а) измельченный 0,6-3,0 мм;
в) порошок окисленный;

б) измельченный менее 0,6 мм;
г) частично окисленные фрагменты топлива.

Рисунок 2. Внешний вид карбида урана

На основании проведенных исследований была рекомендована оптимальная технология переработки карбида урана, включающая следующие операции:

- фрагментация до размеров 30-50 мм;
- измельчение фрагментов с оболочкой до частиц размером менее 1 мм с обязательной подачей инертного газа в камеру измельчения. В связи с возможностью саморазогрева порошка выгрузку измельченного продукта необходимо осуществлять в нержавеющие контейнеры;
- окисление измельченного порошка и оболочек (внутри деформированных оболочек находится некоторое количество карбида урана);
- растворение окисленного продукта в азотной кислоте;
- фильтрация для отделения оболочек от раствора;
- переработка азотнокислого раствора урана по штатной технологии.

ВЫВОДЫ

В данной исследовательской работе были представлены исследования и разработка технологии утилизации уран-карбидного топлива. Были рассмотрены три схемы:

- 1) Растворение УС в азотной кислоте. Недостатком данной схемы является то, что полученные растворы ограничено пригодны для технологического процес-

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО КОРРОЗИИ ГРАФИТА

Аскербекоев С.К., Муканова А.О., Кенжина И.Е., Чихрай Е.В., Шестаков В.П.
НИИ экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби РК,
г. Алматы

Работа посвящена актуальной проблеме исследования высокотемпературной коррозии реакторных графитов в парах воды. В работе приводится схема созданной установки для проведения эксперимента коррозии графитовых образцов в парах воды при температуре до 1300 К и давлении пара до 10 кПа. Также в работе представлены результаты численных расчетов распределения скоростей и температур рабочей смеси (гелий+пар) по длине трубчатой печи установки по исследованию коррозии графита в парах воды, проведенных с целью выбора оптимальных условий проведения эксперимента.

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.

Сечение захвата тепловых нейтронов графита составляет около $0,0036 \cdot 10^{-28} \text{ м}^2$, он имеет относительно высокую прочность, в отличие от других материалов не уменьшающуюся, а возрастающую с увеличением температуры вплоть до 2800 К. Кроме того, графит обладает устойчивой кристаллической решеткой, оставаясь в твердом состоянии даже при очень высоких температурах (более 3800 К) [1].

С другой стороны, после событий на Фукусиме остро стал вопрос о проблеме коррозии графитовых материалов в условиях аварийной разгерметизации реактора. При попадании воды и воздуха в активную зону графит начинает активно корродировать, терять 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. В то время, как коррозия графита в кислороде исследована довольно хорошо, набор экспериментальных данных по коррозии графитов в парах воды довольно ограничен, что дополнительно подтверждает высокую актуальность представляемой работы.

КОРРОЗИОННАЯ КАМЕРА

Для практической реализации рассчитанной геометрии эксперимента и полученной конструкции коррозионной камеры была использована кварцевая трубка требуемых размеров (длиной 500 мм, наружным диаметром 10 мм и внутренним диаметром 6 мм). Электрический нагреватель мощностью 700 Вт был размещен поверх трубки и зафиксирован на ней неподвижно с помощью термоглины и си-

са. Также, данная схема требует больших затрат на реагенты и электроэнергию, что делает её неприемлемой для переработки УС топлива.

- 2) Разложение УС в воде. Установлено, что в процессе разложения выделяются газы, метан, водород, а также небольшое количество высших углеводов, которые являются взрыво-, пожароопасными и требуют разработки дополнительных мер безопасной работы при ведении процесса разложения. Данная схема является неприемлемой из-за переоборудования цеха в связи с выделяющимися газами.
- 3) Окислительная схема с предварительным измельчением исходного продукта является оптимальным вариантом переработки УС топлива. Данный выбор был сделан на основании содержания примесей, которые соответствовали техническому регламенту. Также, расчеты показали, что переработка карбида урана по окислительной схеме с измельчением требует меньше затрат на реагенты и на осуществление дополнительных операций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной исследовательской работе описаны исследования по разработке технологии утилизации уран-карбидного топлива. Проведен обзор источников научно-технической информации, рассмотрены существующие способы переработки.

Были проведены исследования по изучению возможности переработки УС топлива по трем схемам. Каждая схема подробно описана. С помощью сравнительного анализа данных схем была определена оптимальная схема, для получения порошков диоксида урана керамического сорта, пригодного для изготовления топливных таблеток.

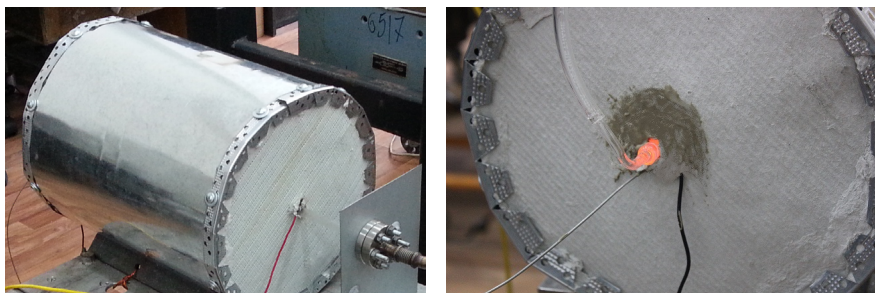
Предложенная технология позволяет снизить риск распространения ядерных материалов, способствует решению крайне важной задачи мировой ядерной энергетики — снижение количества хранящегося на различных установках ядерного материала, обеспечение нераспространения ядерных материалов и увеличение экологической безопасности производства керамического ядерного топлива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт <http://ru.wikipedia.org>
2. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: А.Г. Самойлов. –М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
3. Сокурский Ю.Н., Стерлин Я.М. Уран и его сплавы. М.: Атомиздат 1971.
4. Переработка ядерного горючего:// Под редакцией С.Столяра и Р.Ричарда, М.: Атомиздат, 1964, -с. 63-67, 76-86;
5. Копырин А.А., Карелин А.И., Карелин В.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива. –М.: Издательство Атомэнергоиздат, 2006
6. Петрухин В.Ф., Муази Ф., Масленников А.Г. // Российский химический журнал. 2007. т LI, №6.
7. Масленников А., Вермелин Е., Перетрукин В.: // Радиохимия, 2008.

ликатного клея. Предварительно между нагревателем и трубкой (в центре зоны нагрева) был установлен чувствительный сплав контрольной термопары типа К (сплав хромель-алюмель) в защитном чехле для контроля температуры печи. После высыхания глины нагреватель стал практически монолитным с трубкой и поверх него были уложены три слоя теплоизолятора на основе минеральной ваты, выдерживающего нагрев до 2000 К.

На рисунке 1 показан внешний вид разработанной коррозионной камеры. Поверх изолятора установлен жесткий жестяной экран, с торцов созданную таким образом печь закрывают диски листового теплоизолятора. С одного конца (входного) к кварцевой трубке приварен кварцевый же патрубок (внешним диаметром 6 мм), образуя, таким образом, вход для подачи рабочей смеси (Рисунок 1.б).



а) Внешний вид коррозионной камеры и загрузочного шлюза в рабочем состоянии

б) Вид входного патрубка камеры

Рисунок 1. Коррозионная камера на базе кварцевой трубки

На рисунке 2 показан график временных зависимостей установления температуры в трубчатой печи с использованием двух термопар, установленных на внешней нагреваемой поверхности трубки и в ее внутренней центральной части. Видно, что при температуре нагрева 1400 К, центр трубки прогревается довольно быстро до температуры, отличающейся от задаваемой в пределах всего 5-10 градусов К, что является достаточным для проведения эксперимента.

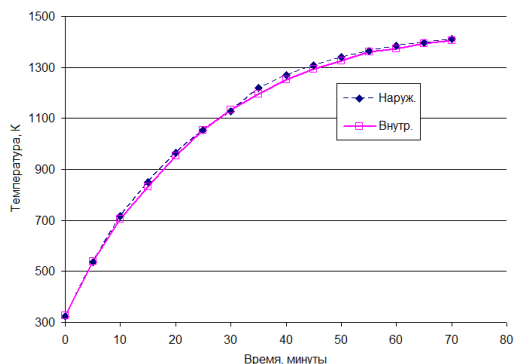


Рисунок 2. Процесс установления температуры 1400 К

Расчет газо-динамических и тепловых параметров эксперимента

Для проверки отсутствия термических нагрузок по образцу графита необходимо провести измерения температурных распределений по поверхности образца, но из-за его небольших размеров (4x4x50 мм³) это не представляется возможным. Поэтому в процессе выполнения работы возникла необходимость получить эти данные путем численного моделирования с использованием метода конечных элементов (программа Elmer Solver).

В основу геометрии рабочей камеры были взяты реальные размеры графитового образца (длиной 5 см, диаметром 0,4 см) и кварцевой трубки (длина 500 мм, внешним диаметром 10 мм, толщиной стенки 2 мм и длиной нагреваемой зоны 300 мм). Схематически камера приведена на рисунке 3.

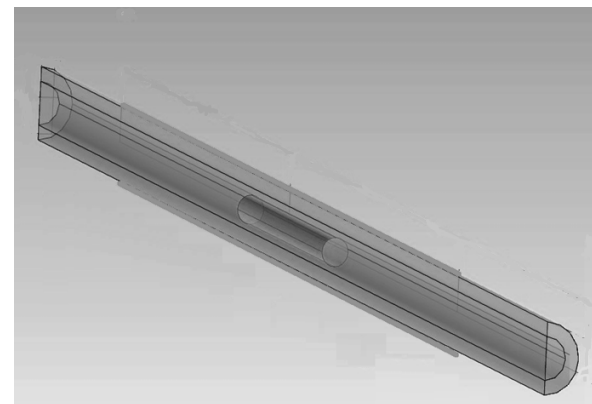


Рисунок 3. Схематичный вид коррозионной камеры с графитовым образцом и нагревателем

Определяющими уравнениями в используемой модели неизотермического потока для расчета распределения скоростей потока рабочей смеси и температур являлись:

Уравнения переноса для стандартной k -эпсилон модели:

для турбулентной кинетической энергии k_E [2]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k_E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k_E u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k_E}} \right) \frac{\partial k_E}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b + \rho \varepsilon - Y_M + S \quad (1)$$

где u – скорость потока; ρ – плотность среды, кг/м³; Па; k_E – турбулентная кинетическая энергия, м²/с²; ε – турбулентная скорость затухания, м²/с³; μ – динамическая вязкость, Па*с; μ_t – турбулентная динамическая вязкость, Па*с.

Для коэффициента затухания ε

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k_E} (P_k + C_{3\varepsilon} P_b) + C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S \quad (2)$$

Уравнение теплопереноса между газом и поверхностями образца и трубчатой печи[3]

$$\cdot \nabla \quad \nabla \cdot \quad \nabla \quad (3)$$

где C_p – теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг*К); Q – общая удельная мощность источника, Вт/м³.

Уравнение для лучистого обмена между поверхностями трубчатой печи и графитового образца [3]

$$\cdot \nabla \quad (4)$$

где n – преломляющая способность, γ - излучательная способность, G – падающий тепловой поток, Вт/м², $\sigma_{SB} = 5,67E-8$ Вт/(м²*Т⁴) - константа Стефана-Больцмана.

В процессе расчета устанавливается взаимосвязь уравнений (1-4), а также используются температурно-зависимые параметры задействованных материалов, приведенные в [4] и [5] таблицы 1.

Таблица 1. Плотность, теплопроводность и теплоемкость кварца и графита

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность k , Вт/(м*К)	Теплоемкость при постоянном давлении C , Дж/(кг*К)
Кварц	2203	1,38	703
Графит	$1749.64-0.032*T^1-3.76E-6*T^2-1.03E-9*T^3+2.367E-13*T^4$	$128.59-0.13*T^1+6.88E-5*T^2-1.79E-8*T^3+1.79E-12*T^4$	$-159.88+3.65*T^1-0.002*T^2+7.38E-7*T^3-8.79E-11*T^4$

Граничные условия общей задачи

для уравнения турбулентной модели $k-\epsilon$:

- начальная скорость - 20 см/с.;
- фиксированное давление на выходе - 900 Па;

для уравнения теплопереноса:

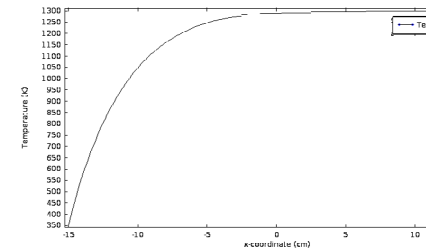
- фиксированная температура на входе - 350 К;
- конвекционно-доминантный перенос на выходе;
- фиксированная температура на внешней поверхности трубки – 1300 К.

Результаты расчетов тепловых и газодинамических параметров эксперимента

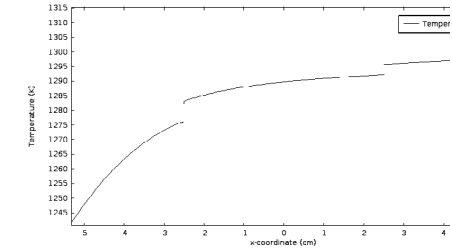
В таблице 2 и рисунке 4 приведены значения интересующих точек на поверхности и в объеме графитового образца, полученных в результате проведенных численных расчетов. Видно, что разница температур по образцу составляет не более 9 К, с чего можно сделать заключение, что образец в процессе эксперимента по коррозии не будет подвержен дополнительным термическим нагрузкам, а разрушение образцов будет обусловлено только окислительными реакциями, что является крайне важным условием для чистоты эксперимента.

Таблица 2. Расчет распределения температур

Температура нагрева, К	Положение	Значение температуры, К				T2-T1
		Низ		Верх		
		Центр	Край (Т1)	Центр	Край (Т2)	
1300 К	Поверхность	1291,65	1282,34	1291,72	1291,72	9,38
	Объем	1291,65	1291,65	1291,72	1291,72	0,07



а) распределения температуры по всей длине трубки



б) распределения температуры в области образца

Рисунок 4. Графики распределения температуры

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были проведены тепловые и газо-динамические расчеты высокотемпературной коррозионной камеры установки по исследованию коррозии графитовых образцов в парах воды. Полученная расчетная модель корректно описывает распределение температур по объему образца и рабочей смеси, что подтверждается аппроксимированными экспериментальными измерениями. Температурный градиент по длине графитового образца составляет не более 9 К, что является очень важным критерием достоверности экспериментальных результатов по коррозии образцов. По результатам проведенного расчета были утверждены окончательные технические условия для проведения эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров В.В., Бурдаков Н.С., Виргильев Ю.С. и др. Действие облучения на графит ядерных реакторов // - М.: Атомиздат, 1978. - 272 с.
2. Фрик П.Г. Турбулентность: модели и подходы. Курс лекций: в 2 ч. Часть I., Часть II. - ПГТУ, Пермь, 1998. — 108 с.— 136 с.
3. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., под ред. Б.С. Петухова Теплообмен в ядерных энергетических установках. Учебное пособие для вузов. - М.: Атомиздат, 1974. – 408 с.
4. Киккоин И.К. Таблицы физических величин. Справочник. - М.: Атомиздат, 1976. - 1008 с.
5. Taylor R.E., Groot H. Thermophysical properties of POCO graphite. // High Temp. – High Press. – 1980. - Vol. 12. – p.147 – 160.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА ИГР

**Иркимбеков Р.А., Котов В.М., Вурим А.Д.,
Жагипарова Л.К., Мурзагалиева А.А.**
ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, ВКО

УДК 621.039.53

ВВЕДЕНИЕ

Реактор ИГР – импульсный исследовательский ядерный реактор на тепловых нейтронах с гомогенной уран-графитовой активной зоной.

На реакторе ИГР проводятся эксперименты в обоснование безопасности вновь разрабатываемых реакторов. В частности, в экспериментах моделируется поведение топлива при развитии тяжелой аварии с плавлением активной зоны. Такие эксперименты помогают определить конструкцию, при которой движение расплавленного топлива может быть безопасным. Для реализации этих экспериментов необходимо иметь значительный запас реактивности.

Реактор ИГР является реактором теплоемкостного типа. Его работоспособность регламентируется максимальной температурой достигаемой в ходе импульса. Основными режимами работы реактора являются нерегулируемый импульсный режим самогасящейся нейтронной вспышки, и регулируемый режим [1].

Для осуществления режима самогасящейся вспышки реактору сообщается реактивность, превышающая долю запаздывающих нейтронов, величина которой определяет форму, амплитуду и полуширину вспышки; гашение вспышки происходит вследствие отрицательного температурного эффекта реактивности.

Регулируемый режим осуществляется перемещением стержней регулирования, компенсирующих отрицательный температурный эффект реактивности по заданному закону. Максимальная мощность реактора, её изменение во времени определяются задачами испытаний. При этом температура в месте установки термпар в активной зоне не должна превышать 1400 К. Максимальная температура в активной зоне может достигать 1900 К, а флюенс тепловых нейтронов в центральном экспериментальном канале реактора - $3.7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ [2].

Нейтронно-физические и теплофизические модели реактора

Для определения параметров активной зоны реактора ИГР были созданы модели для нейтронных и тепловых расчетов. Основное требование, предъявляемое к моделям, состояло в сходимости результатов ранее проведенных экспериментов на реакторе с результатами расчетов по данным моделям.

Было создано 3 модели:

- Модель для нейтронно-физических расчетов в MCNP [3], которая позволяет найти реактивность реактора в определенной конфигурации, потоки и спектры нейтронов и гамма излучения, распределение мощности по активной зоне. Использовалась модель с детализацией энергетической зависимости на базе библиотеки ENDF/B-VI.

- Модель для тепловых расчетов в ANSYS Mechanical [4], которая позволяет рассчитать температуру кладки активной зоны в любой точке реактора в любой момент времени при реализации заданной диаграммы мощности.
- Модель для расчета кинетики [5], которая позволяет рассчитывать форму диаграммы мощности регулируемого и нерегулируемого режимов в зависимости от изменения во времени положения органов регулирования.

Нейтронно-физические расчеты

Расчетная модель реактора ИГР максимально приближена к реальной конструкции реактора. Каждая колонна графитовой кладки смоделирована с учетом индивидуальных особенностей конструкции. В результате точно воспроизведена геометрия активной зоны реактора, задана переменная концентрация урана по топливным блокам, воспроизведены стержни регулирования и организован простой подход для их перемещения и быстрой настройки модели для воссоздания определенной конфигурации реактора.

Важным этапом проверки модели являются расчеты критических состояний. В таблице 1 приводятся результаты расчетов трех критических состояний реактора, реализованных при проведении экспериментов в стационарном режиме работы реактора с коэффициентом размножения равным 1,0000. Неопределенность в измерениях коэффициента размножения составляет менее $\leq 0,01 \%$.

Таблица 1. Критические конфигурации реактора

Критическая конфигурация	182ф5в	182ф6в	182ф7в
Температура АЗ, °С	8	11	14
Органы регулирования	Положение органов регулирования, см		
ПС1	1,1	103,9	84
ПС2	139,6	139,6	139,6
ПС3	-7,5	94,5	112,6
КС1	13	-8,3	-8,3
КС2	13	-5,9	-5,9
КС3	13	-6,3	-6,3
КС4	13	-9,5	-9,5
КС5	13	-6,7	-6,7
КС6	13	-6,7	-6,7
КС7	13	-6,2	-6,2
КС8	13	-5,0	-5,0
АР	159	159	159
РР	84,8	-8,4	-8,4
УС1	-7,5	-7,5	-7,5
УС2	-7,5	-7,5	-7,5

УСЗ	-7,5	-7,5	-7,5
$K_{эфф}$ расчет	1,00103±0,00034	1,00006±0,00032	0,99949±0,00030
$K_{эфф}$ эксперимент	1,0000±0,0001		

Отклонения результатов расчетов от экспериментальных данных не превышают 0,11%. Различия во многом определяются возможными отклонениями положения органов регулирования и температуры кладки от указанных в таблице. Погрешность положения стержней составляет 1 мм по каждому стержню, погрешность температуры 1,5 °С, и в целом эти погрешности могут приводить к погрешности в коэффициенте размножения, равной 0,18 %.

Расчет избыточной реактивности был выполнен для реактора, когда из активной зоны извлечены все стержни регулирования и подвижная часть кладки в рабочем положении. Ампулы центрального и бокового экспериментальных каналов – пусты. Расчетное значение коэффициента размножения для данной конфигурации реактора составило 1,23435.

Расчет распределения плотности потока тепловых нейтронов в экспериментальных каналах был выполнен для реактора, когда из активной зоны извлечены все стержни регулирования и подвижная часть кладки в рабочем положении. На рисунках 1 и 2 представлены распределения плотности потока тепловых нейтронов в центральном и боковом экспериментальных каналах реактора ИГР при мощности реактора 1 МВт. Максимальный поток в этом случае составляет $6,89 \cdot 10^{12}$ н/(см²·с), что согласуется с заявленным значением с точностью 1,5 %.

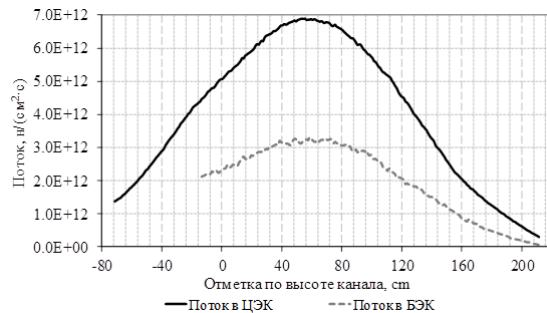


Рисунок 1. Распределение плотности потока тепловых нейтронов в центральном и в боковом экспериментальном канале реактора ИГР при мощности реактора 1 МВт

Для определения степени влияния температуры на реактивность рассчитывался температурный коэффициент реактивности (αT), отражающий количественное соотношение между изменениями реактивности и температуры в топливе реактора. Для этого были определены значения $K_{эфф}$, ρ , αT для разных значений температуры активной зоны. Результаты расчета сглажены интерполяционной функцией шестого порядка и представлены на рисунке 2 для двух конфигураций реактора с расположением стержней регулирования в крайних положениях.

Из результатов расчетов следует, что увеличение температуры АЗ приводит к уменьшению реактивности, а значение ТКР принимает отрицательное значение на всем эксплуатационном температурном интервале и сильно зависит от положения стержней регулирования. Также на значение реактивности влияет неравномерность разогрева графитовой кладки реактора.

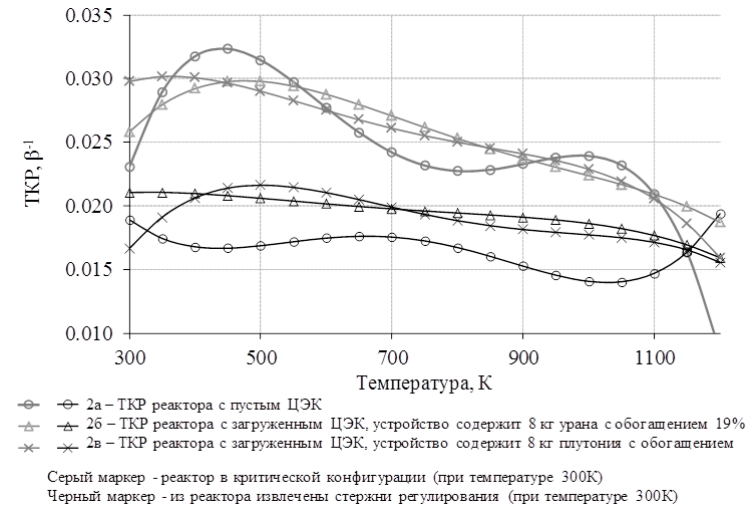


Рисунок 2. Значения ТКР для различных температур кладки и композиций активной зоны

На следующем рисунке 3 приведено сравнение графиков экспериментально измеренного значения ТКР и рассчитанного для некоторых критических состояний реактора.

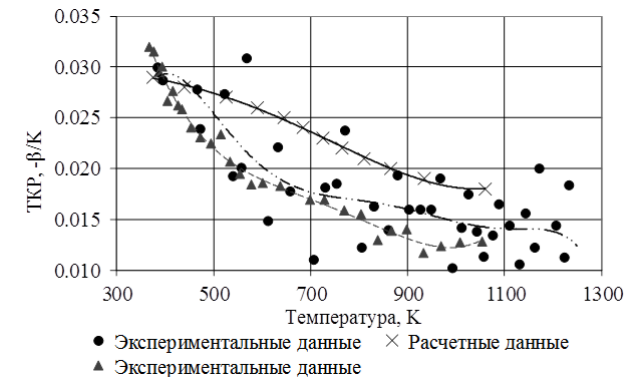


Рисунок 3. Экспериментальные и расчетные зависимости ТКР

Тепловая модель реактора

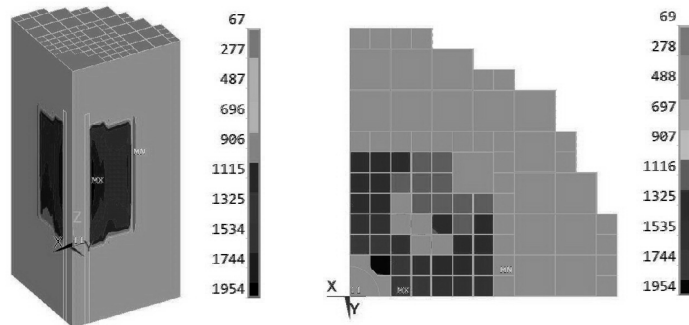
Задача нестационарного теплового расчета реактора ИГР решена с использованием метода конечных элементов реализуемого программной средой ANSYS.

ANSYS используется для решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

В расчете учитывается теплообмен посредством теплопроводности внутри графитовых колонн, теплообмен излучением и теплопроводностью между графитовыми колоннами. Степень черноты графитовых поверхностей изменяется от 0,6 до 0,8 в зависимости от температуры. Начальная температура модели 27 °С (300 К).

Согласно проведённым расчетам максимальная температура графита в первой колонне равна 1677 °С (1950 К), а в неподвижной части кладки не превысит 1316 °С (1589 К). Температура в контрольной области колонны в месте расположения термодпары находится между 1300 и 1500 К. Измеренная температура в этой точке не должна превысить 1400К. Рассчитанное значение температуры может отклоняться от 1400 К по причине зависимости потока нейтронов в объеме активной зоны от положения органов регулирования [6].

На рисунке 4 показан вид температурного поля реактора ИГР после эксперимента с энерговыделением 5,2 ГДж.



Вид в аксонометрии

Сечение с максимальной температурой
– 0,6 м от основания АЗ

Рисунок 4. Температурное поле реактора при энерговыделении 5,2 ГДж

Кинетическая модель реактора ИГР

Математическое описание задачи

Для моделирования кинетики ИГР решалось уравнение точечной кинетики с шестью группами запаздывающих нейтронов:

$$\begin{cases} \frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t)-1}{l} \cdot n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i \cdot c_i(t) + s, \\ \frac{dc_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{l} \cdot n(t) - \lambda_i \cdot c_i(t). \end{cases} \quad (1)$$

Ввод реактивности с помощью регулирующих стержней моделировался с учетом реального закона движения стержней и с учетом значения температурного эффекта реактивности:

$$d\rho = \frac{d\rho_{rod}}{dz} \cdot \frac{dz_{rod}}{dt} \cdot dt + \alpha(T, z) \cdot \frac{W(t)}{C_{pGr}(T) \cdot m} dt \quad (2)$$

где

$\frac{d\rho}{dz}$ — дифференциальная характеристика эффективности регулирующего стержня в зависимости от положения его нижнего конца в активной зоне;

$\frac{dz}{dt}$ — скорость движения регулирующего стержня;

$\alpha(T, z)$ — температурный коэффициент реактивности, имеет сложную зависимость от температуры активной зоны и взаимного положения стержней регулирования;

$\frac{W(t)}{C_{pGr}(T) \cdot m} = \frac{dT}{dt}$ — скорость роста температуры, зависит от мощности реактора в данный момент времени;

$W(t) = C_u \cdot \sigma_f \cdot q \cdot V_{AZ} \cdot n(t)$ — мощность реактора пропорциональна потоку тепловых нейтронов;

m — масса графита пропитанного ураном;

$C_{pGr}(T)$ — теплоемкость графита при температуре T .

Таким образом, решение задачи по определению мощности реактора ИГР в зависимости от введенной реактивности сводится к решению уравнения кинетики с учетом, изменения реактивности за счет роста температуры активной зоны и движения регулирующих стержней.

Сравнение результатов расчета кинетики ИГР с экспериментальными данными

Результаты расчета пусков серии 121Ф удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными по характеристикам мощности, выделяемой энергии и полуширине вспышки (таблица 2). В таблице через слеш приведены экспериментальные данные.

Незначительные различия во времени достижения максимума мощности в пусках 121Ф-10 и 121Ф-11 могут быть обусловлены неточностью задания дифференциальной характеристики регулирующих стержней. Для пуска 121Ф-12 время достижения максимума сошлось, потому что во время вспышки стержни находились на одном уровне.

Таблица 2. Расчетные / экспериментальные параметры пусков серии 121Ф для модели ИГР-ВОУ

Параметр	Ед. измерения	Номер пуска		
		121Ф-10	121Ф-11	121Ф-12
ρ (макс)	β	4.82 / 4.16	5.19 / 4.43	1.92 / 1.83
$\Delta t_{1/2}$	с	0.142 / 0.142	0.13 / 0.129	0.599 / 0.603
Q_{max}	МВт	5947 / 5975	7273 / 7343	279.3 / 271
J	МДж	1004 / 1094	1222 / 1194	214.8 / 244

T ₀	°C	27 / 28	27 / 24	27 / 23
T _k	°C	332 / 307	357.3 / 319	105.6 / 108
ΔT	°C	305 / 279	330.3 / 295	78.6 / 85

Сравнение расчетных значений реактивности и мощности с экспериментальными данными представлено на рисунках 5 и 6 для пуска 121Ф-10. Результаты расчетов сдвинуты по шкале времени так, чтобы можно было наглядно сравнить результаты эксперимента и расчетов.

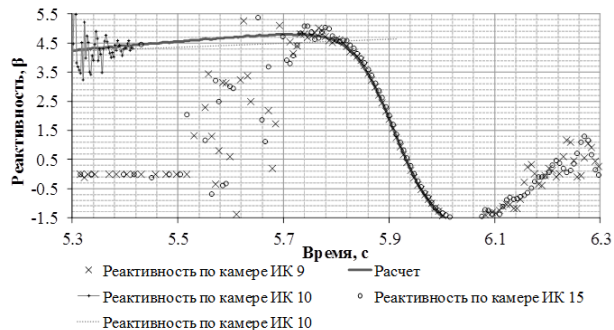


Рисунок 5. Расчетное и зарегистрированное изменение реактивности во время пуска 121Ф-10

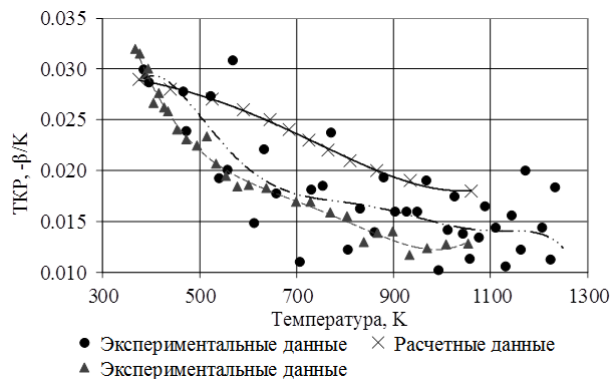


Рисунок 6. Расчетное и зарегистрированное изменение мощности во время пуска 121Ф-10

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для расчета характеристик ИГР построено 3 модели, которые позволяют рассчитать многие параметры реактора ИГР измеряемых в процессе эксперимента. Показана хорошая сходимость параметров реактора рассчитанных и измеренных экспериментально.

Модели могут использоваться и для расчета параметров, которые не регистрируются во время каждого эксперимента: спектр нейтронов в экспериментальном ка-

нале, температура реактора в различных точках активной зоны и в любой момент времени.

Актуальность разработанных моделей обоснована необходимостью предварительного расчетно-аналитического анализа проводимых экспериментов. Во многих случаях разработанные модели позволяют оценить параметры реактора и облучаемого устройства с более высокой точностью, чем экспериментальные измерения. Созданные модели также позволяют спрогнозировать работу реактора с установленным экспериментальным устройством.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бать Г.А., Коченов А.С., Кабанов Л.П. Исследовательские ядерные реакторы – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.
2. Вурим А.Д., Колодешников А.А., Гайдайчук В.А. Описание реактора ИГР: отчет (Deliverable 1.1 under Contract 0J-30461-0001A) / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК – Курчатов, 2011. – 40 с.
3. MCNP/5: General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, 2003.
4. ANSYS(R) Mechanical APDL Release 14.5.7. User Reference; Ansys, Inc.; 2013.
5. Вурим А.Д., Колодешников А.А., Гайдайчук В.А. Исследование динамических параметров реактора ИГР с топливом пониженного обогащения: отчет (Deliverable 5.2 under Contract 0J-30461-0001A) / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК – Курчатов, 2012. – 31 с.
6. Котов В.М., Курпешева А.М., Иркимбеков Р.А. Расчет характеристик ИГР // Атомная энергия. – Москва, август 2011. – том 111, выпуск 2. – с. 116.

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПО НАРАБОТКЕ ТРИТИЯ И ГЕЛИЯ В БЕРИЛЛИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

*Кенжина И.Е., Муканова А.О., Файзуллаева Ж.Ж.,
Чихрай Е.В., Шестаков В.П.*

НИИ экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби РК,
г. Алматы

В работе представлены результаты расчетов наработки трития и гелия в облученном образце бериллия реактора JMTR (Japanese Material Test Reactor). С помощью пакета MCNP5 были определены скорости ядерных реакций, протекающих при облучении бериллия. Была проведена интерпретация результатов для получения наработанного количества трития и гелия. Произведен сравнительный анализ экспериментально полученных и рассчитанных при помощи кода MCNP5 данных по значениям наработанных газов в образцах бериллия.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем ядерного материаловедения является выбор конструкционных материалов, способных выдержать высокие термические и нейтронные нагрузки.

Бериллий, благодаря своим уникальным ядерно-физическим свойствам, широко используется в атомной технике. Малое сечение поглощения тепловых нейтронов и высокий коэффициент замедления, удовлетворительные механические характеристики и высокая теплопроводность позволяют применять бериллий в качестве замедлителя и отражателя нейтронов активных зон ядерных реакторов. В то же время бериллий способен деградировать под воздействием реакторного излучения, т.к. вступает в ядерные реакции с нейтронами, в результате которых как продукт образуется тритий и гелий. Поэтому информация о параметрах и понимание физических механизмов, ответственных за накопление и выделение трития, крайне необходима с точки зрения эксплуатации реактора, а также безопасности управления радиоактивными бериллиевыми отходами.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование эксперимента по облучению бериллия нейтронами реакторного спектра (JMTR) с целью определения количества наработанных газов и также проведение сравнительного анализа полученных данных с экспериментальными результатами.

РАСЧЕТЫ

Для моделирования нейтронно-физических процессов в настоящей работе была использована программа MCNP (на основе метода Монте-Карло), которая является наилучшим решением для подобного рода задач.

В данном эксперименте облучался бериллий ПВД реакторного класса, изготовленного АО Nippon Gaisi (Япония). Химический состав отображен в таблице 1, из которой видно, что чистота бериллия составляет около 99%, и основная доля примеси представлена оксидом бериллия BeO.

Таблица 1. Химический состав бериллия

Элемент	Содержание, %
Be	99.28
BeO	1.28
C	0.095
Fe	0.061
N	0.038
Al	0.032
Si	0.0236
Ni	0.02
Cr	0.011
Mn	0.011
Mg	0.009
Ca	0.0031
Cl	0.003
Cu	0.0021
Pb	0.002
Mo	0.0019
Co	0.0007
Ag	0.0004
Li	0.0003
Cd	0.0002
B	0.00009

Образец имеет форму диска с диаметром 10 мм и толщиной 1,4 мм. (см. рисунок 1)

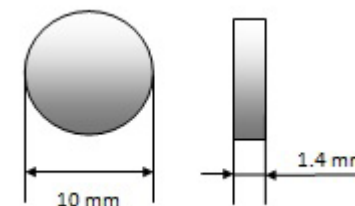
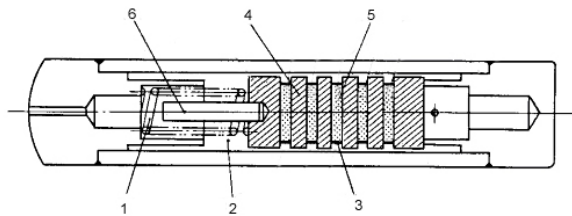


Рисунок 1. Образец бериллия для облучения

Снаружи диск покрыт алюминиевой фольгой для осуществления измерения выхода трития. Чистота алюминия 99,99%, а толщина составляет 100 мкм, так как пробег трития в алюминии около 10 мкм.

Капсула для облучения исследуемых образцов бериллия представлена на рисунке 2.



- 1) рессоры; 2) гелий; 3) фольга из алюминия; 4) спейсер (Al); 5) бериллиевый образец; 6) флюенс-монитор.

Рисунок 2. Капсула для облучения образцов

Условия облучения показаны в таблице 2.

Таблица 2. Условия облучения

Параметр	Значение
Температура	200 °С
Флюенс по тепловым нейтронам	6*1020 н/см ²
Флюенс по быстрым нейтронам	3,8*1020 н/см ²
Диапазон спектра нейтронов в реакторе JMTR	3,31e-05 эВ до 14,6 МэВ
Время облучения	22 суток

Для данного диапазона спектра нейтронов характерны реакции, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Ядерные реакции, участвующие в наработке трития и гелия

Тип реакции	Реакция
(n, 2n)	$n + {}^9_4\text{Be} \rightarrow n + {}^8_4\text{Be}$ $\downarrow 7 \cdot 10^{-17} \text{с}$ $n + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$
(n, α)	$n + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ $\downarrow \beta^-: 0.808 \text{с}$ $n + {}^6_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$ $\downarrow \beta^-: 12.3 \text{год}$ $n + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^3_1\text{H}$
(n, t)	$n + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^7_3\text{Li}$ $\downarrow \beta^-: 12.3 \text{год}$ $n + {}^7_3\text{Li} \rightarrow n + {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$ $\downarrow \beta^-: 12.3 \text{год}$ $n + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^3_1\text{H}$

К сожалению, в данной версии пакета MCNP5 не было возможности задать температуру эксперимента 200 °С, поэтому расчеты проводились для температуры 20 °С. Этим, вероятно, можно объяснить некоторые расхождения в результатах.

Для расчетов была использована библиотека сечений ENDF/B-VI.0

С использованием всех данных была создана модель эксперимента в программе MCNP и получены скорости реакций.

По результатам расчетов была получена зависимость изменения концентрации от времени при помощи программы MathCad14 (рисунок 3).

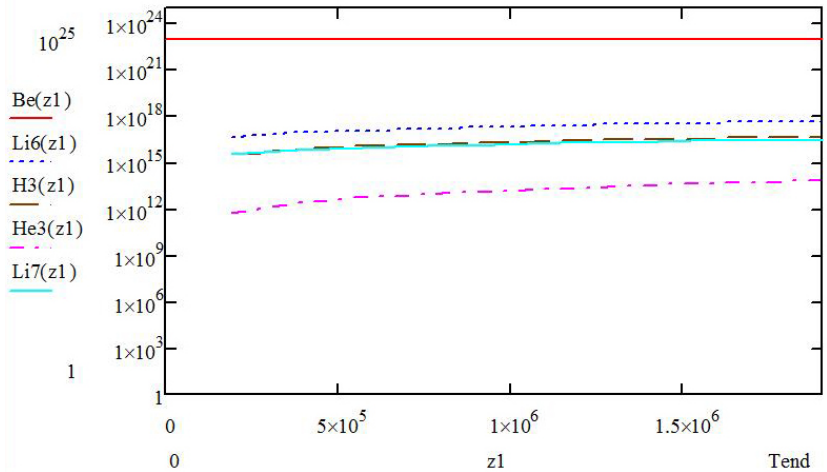


Рисунок 3. Зависимость изменения концентрации от времени

Далее для получения ядерной плотности решаем системы дифференциальных уравнений с помощью программы MathCad:

$$\frac{dBe(t)}{dt} = -(R_{n2n}^{Be} + R_{n\alpha}^{Be} + R_{nt}^{Be} + R_{ny}^{Be})Be(t)$$

$$\frac{dLi6(t)}{dt} = R_{n\alpha}^{Be}Be(t) - (R_{nt}^{Li-6} + R_{n2n}^{Li-6} + R_{ny}^{Li-6} + R_{np}^{Li-6} + R_{n51}^{Li-6} + \dots + R_{n81}^{Li-6})Li6(t)$$

$$\frac{dH3(t)}{dt} = R_{nt}^{Li-6}Li6(t) + R_{nt}^{Li-7}Li7(t) + R_{nt}^{Be}Be(t) + R_{np}^{He-3}He3(t) - \lambda_{3H}H3(t)$$

$$\frac{dHe3(t)}{dt} = \lambda_{3H}H3(t) - R_{np}^{He-3}He3(t)$$

$$\frac{dLi7(t)}{dt} = R_{nt}^{Be}Be(t) - (R_{n51}^{Li-7} + R_{nt}^{Li-7})Li7(t)$$

В результате дальнейших несложных расчетов было получено значение наработанного количества трития 2,7E-08 г, что согласуется с экспериментом с точностью ~20%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был проведен расчет наработки трития в облученном образце бериллия. При помощи программного кода MCNP были получены значения скоростей реакций, далее при помощи программы MathCAD рассчитано количество наработанного трития - $2,7E-08$ г. Представленная работа является начальным этапом проекта по исследованию механизмов наработки и взаимодействия изотопов водорода и гелия в бериллии. Согласие эксперимента с расчетами на данный момент разумное, но этот результат не является окончательным, так как предстоит дополнительная работа по созданию более точной модели эксперимента с помощью MCNP и других программных пакетов с учетом выбора наиболее подходящих библиотек сечений и температур. Также планируется провести расчет количества трития, накопленного в алюминиевой фольге, одновременно с моделированием экспериментов по термодесорбции облученных бериллиевых образцов. Завершающим этапом работ будет определение основных параметров взаимодействия трития с облученным бериллием – эффективного коэффициента диффузии и энергии активации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Серняев Г.А.* Радиационное материаловедение бериллия / Г.А. Серняев, З.И. Четкина. – Минск: Наука и техника, 1977. – с. 12 – 15.
2. Бериллий : 3 сб. / Под ред. Д. Уайта и Дж. Берка.- М.: ИИЛ, 1960
3. *Серняев Г.А.* Радиационная повреждаемость бериллия / Г.А. Серняев. – Екатеринбург : Екатеринбург, 2001. – 396 с.
4. *E. Rabaglino, C. Ronchi, A. Cardella* Recent progress in the modelling of helium and tritium behaviour in irradiated beryllium pebbles // Fusion Engineering and Design – Vol. 69. – 2003. – p. 455-461.
5. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume I: Overview and Theory.
6. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume II: User's Guide.
7. *G. Doherty*, Neutron Cross Section of ^9Be in Energy Range 1 MeV to 15 MeV / G. Doherty. – AEEW-M513: Dorset, 1965.

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЛУЧЕННОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ЕЕ ДЛИТЕЛЬНОГО СУХОГО ХРАНЕНИЯ

*Кожаметов Е.А., Бакланов В.В., Даулеткелдыев А.Д.,
Коянбаев Е.Т., Миниязов А.Ж.*

Институт атомной энергии НЯЦ РК, г. Курчатов, ВКО

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мировой практике разработаны концепции хранения отработанного топлива это «мокрое» хранение отработанных сборок в бассейнах выдержки непосредственно при атомных реакторах и последующее «сухое» хранение в специальных контейнерах в специализированных помещениях долговременного хранилища. Задачей безопасного хранения является создание таких условий, при которых продукты отработанного топлива не должны попадать в окружающую среду, вызывая серьезные экологические последствия.

Корректное прогнозирование поведения топливных сборок при длительном сухом хранении можно провести только с учетом изменений коррозионной стойкости материалов в процессе самого хранения. Учитывая то, что контроль или возможность измерения температуры, давления или состояния топливных сборок в контейнере не предусмотрено, единственным инструментом для оценки состояния топливных сборок остается проведение модельных испытаний с облученными материалами и экстраполяция экспериментальных данных. Модельные испытания проводятся в два этапа при выполнении которых определяется степень изменения структуры и свойств облученного материала в зависимости от температуры (первый этап), а так же совместного действия температуры и механического напряжения (второй этап).

Для получения прямых экспериментальных данных по коррозионному поведению барьерного материала необходимо исследовать материал облученной оболочки твэла. Поскольку эти материалы в настоящее время недоступны и вряд ли будут доступны в ближайшем будущем, одним из подходов для прогнозирования деградации первого барьера на пути выхода радиоактивных продуктов деления в окружающую среду является исследование облученного и необлученного материала чехла ТВС и исходной оболочки твэла. Идея заключается в том, чтобы прогнозировать степень деградации материала облученной оболочки твэла по результатам сравнительного исследования коррозионного поведения облученных и необлученных материалов чехла ТВС.

Объект и методы исследования

Для проведения работ в данном направлении были изготовлены облученные и необлученные образцы чехла ТВС (сталь 12X18H10T), необлученные образцы оболочки твэла (сталь 08X16H15M3Б) и образцы-свидетели реактора ИВГ.1М, изготовленные из стали 08X18H10T. Облученные образцы были вырезаны из разных участков отработавшего чехла ТВС (ОТВС) типа ЦЦ-19 реакторной установки (РУ)

БН-350. Координаты расположения образцов относительно центра активной зоны (ЦАЗ), дозы облучения и условия их испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1. Информация по дозам облучения и условиям испытаний образцов

Реактор	Место вырезки, мм от ЦАЗ	Доза облучения, н/см ²	Температура испытания, °С	Среда испытания	Длительность испытания, час
БН-350	+165	$1,75 \cdot 10^{23}$	400	атмосфера	1
	+175	$1,8 \cdot 10^{23}$	300; 400; 550		7000
ИВГ 1.М	-96	$4,3 \cdot 10^{19}$	400 под напряжением 0,9 $\cdot\sigma_{02}$		580; 1500; 3000
	-316	$4 \cdot 10^{18}$			5000

Для моделирования коррозии отработавших конструкционных материалов в условиях нагрева сборок за счет остаточного энерговыделения ядерного топлива при сухом хранении использовалось длительное термическое старение. Термическое старение проводили в электрической муфельной печи SNOL-8,2/1100 при температуре 400 °С в среде воздуха. Кинетику коррозионного процесса определяли по положительному показателю изменения массы. По результатам экспериментального определения кинетики коррозии материалов при термическом старении в среде аргона и в атмосфере воздуха моделировались соответственно штатные и аварийные режимы сухого хранения топливных сборок реактора БН-350.

Коррозионные испытания под напряжением проводятся на экспериментальной установке «КОРИНА» которая позволяет поддерживать постоянную нагрузку на образец за все время испытания. Испытания проводились на воздухе при температуре 400 °С. Напряжение в испытуемых образцах создается приложением постоянной растягивающей нагрузки. Значение нагрузки на образец определяется из условия $0,9 \cdot \sigma_{0,2}$ (условный предел текучести).

Для определения изменения структуры и свойств образцов были проведены металлографические исследования и физико-механические испытания. Металлографические исследования образцов проводились при помощи оптического и растрового электронного микроскопа. Физико-механические испытания заключались в определении плотности, микротвердости и прочностных характеристик. Плотность определялась методом гидростатического взвешивания. Микротвердость – по Викерсу. Прочностные характеристики методами одноосного растяжения.

Результаты материаловедческих исследований после испытаний

Результаты исследования образцов ОТВС РУ БН-350 после длительного термического старения

Для определения степени изменения микроструктуры образцов во время их длительного отжига были проведены металлографические исследования исходных и отожженных образцов. Микроструктура облученных образцов в исходном состоянии и после отжига длительностью 1 час и 7000 часов представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Микроструктура облученных образцов чехла ОТВС

- а) исходный (отметка «+160 мм» от ЦАЗ);
 б) после отжига в течение одного часа («+160 мм»);
 в) отметка «+175 мм» от ЦАЗ после отжига 7000 часов.

Микроструктура образца с отметки «+160 мм», характеризуется отчетливо видимыми полосами скольжения, на которых в отдельных местах наблюдаются выделения карбидных частиц (вероятно, $Me_{23}C_6$) размером 2-3 мкм (рисунок 1а). Микротвердость стали после облучения составила ~ 375 кг/мм² (для необлученной стали было $H_v = 260$ кг/мм²). Плотность материала грани чехла - 7,55 г/см³ (когда для необлученной стали $\rho = 7,86$ г/см³).

В металлографической структуре облученной стали после отжига при температуре 400 °С длительностью 1 час выявилось множество полос скольжения, декорированных карбидными частицами. Отдельные выделения наблюдали также на границах зерен (рисунок 1б).

В результате кратковременного послерадиационного отжига микротвердость зерен уменьшилась до 360 кг/мм², тогда как плотность увеличилась на 3% от исходного облученного состояния.

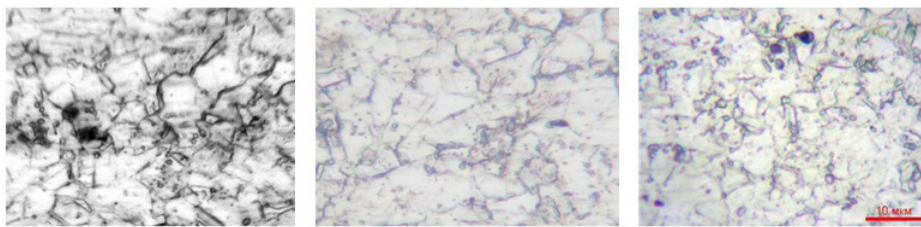
В микроструктуре облученной стали после длительного отжига при температуре 400 °С (рисунок 1в) наблюдаются выделения в основном по границам зерен. Количество строчных выделений в теле зерна незначительно. Микротвердость уменьшилась до 280 кг/мм², а плотность увеличилась на 4%.

Для определения степени изменения прочностных характеристик, во время термического старения, были проведены механические испытания облученных образцов до и после отжига. Результаты испытаний показали увеличение прочностных характеристик аустенитной стали после реакторного облучения. Например, значение предела текучести $\sigma_{0,2}$ для образца из отметки «+175 мм» от ЦАЗ после облучения нейтронами до повреждающих доз 55,5 сна составил около 680 МПа тогда как для исходной необлученной стали предел текучести составляет 310-330 МПа. Результаты механических испытаний облученных образцов после отжига показали увеличение прочностных характеристик. Например, значение предела текучести $\sigma_{0,2}$ для образца из отметки «+175 мм» от ЦАЗ после отжига при температуре 300 °С в течение 7000 часов составил 920 МПа.

Результаты исследования образцов-свидетелей реактора ИВГ 1.М после длительного термического старения при наличии постоянной механической нагрузки

С целью определения структурных изменений в облученном материале в результате одновременного воздействия механической нагрузки и термического старения были проведены материаловедческие исследования образцов после коррозионных испытаний под напряжением. Микроструктура образцов после испытаний длительностью 580 часов, 1500 часов и 3000 часов представлена на рисунке 2.

Структура образца после испытания характеризуется полиэдрическим строением зерен. Средний размер зерна – около 5 мкм. В микроструктуре стали после отжига при наличии постоянной растягивающей нагрузки наблюдаются выделения вторичных фаз расположенных преимущественно по границам зерен.



а) б) в)

Рисунок 2. Поверхность рабочей части образцов после испытаний

- а) после испытания длительностью 580 ч.
б) после испытания длительностью 1500 ч.
в) после испытания длительностью 3000 ч.

Плотность образцов после испытания, определенная гидростатическим методом, не отличаются от значения для неотожженной слабооблученной стали. Результаты измерения микротвердости показали что в процессе отжига микротвердость образца увеличивается с увеличением длительности испытания. Значения микротвердости после испытания длительностью 580, 1500 и 3000 часов составляют соответственно $2,27 \pm 0,03$ ГПа, $2,37 \pm 0,03$ ГПа и $2,47 \pm 0,03$ ГПа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании сравнительного анализа результатов структурных исследований образцов после коррозионных испытаний с разной длительностью установлен факт деградации структуры в виде зарождения и скопления вторичных мелкодисперсных выделений типа $Me_{23}C_6$. Если в начале испытания вторичные выделения наблюдаются преимущественно в теле зерна, то при дальнейших испытаниях указанные выделения перемещаются на границы зерен. В результате измерения микротвердости испытанных образцов, обнаружена зависимость значения микротвердости от длительности проведенных испытаний.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СПЕКАЕМОСТЬ ТАБЛЕТОК ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ИЗ ДИОКСИДА УРАНА

Ларин П.Ю., Шевченко Г.М., Карманов Б.А.,
АО «УМЗ» РК, г. Усть-Каменогорск

АО «Ульбинский металлургический завод» имеет богатый опыт в изготовлении топливных таблеток с характеристиками, отвечающими требованиям различных потребителей. Применяемая на производстве гидролизно-экстракционная технология получения порошков диоксида урана керамического сорта разработана в 70-х годах 20 века совместно учеными институтов Министерства среднего машиностроения СССР и Ульбинского металлургического завода.

В основе технологии лежит АДУ-процесс, предусматривающий осаждение из урансодержащих растворов полиуратов аммония (ПУА) с последующим разложением и восстановлением оксидов.

Преимуществом гидролизно-экстракционной технологии является то, что при использовании сырья, в различной степени загрязненного примесями, получают порошки диоксида урана ядерной частоты. Из данных порошков изготавливаются таблетки ядерного керамического топлива.

Основными требованиями к таблеткам из диоксида урана являются: обеспечение целевой плотности, равномерной микроструктуры, отсутствие внутренних и внешних дефектов при оптимальных и стабильных показателях технологичности порошков (текучесть, насыпная плотность, прессуемость, формуемость, спекаемость). В значительной степени указанные показатели определяются характеристиками порошка диоксида урана [1].

Задачей проекта является исследование влияния технологических факторов порошков диоксида урана на спекаемость топливных таблеток.

Цель проекта – разработка математической модели влияния технологических параметров на плотность таблеток ядерного топлива.

Для анализа влияния характеристик исходных порошков на спекаемость таблеток была обработана промышленная статистика 30 сменных выработок порошка диоксида урана и полученных из них топливных таблеток (приложение А).

В качестве независимых переменных изучены следующие характеристики порошка: кислородный коэффициент (X1), полная удельная поверхность (X2), содержание урана (X3), массовая доля влаги (X4), содержание углерода (X5), содержание кремния (X6) и содержание железа (X7). Плотность спеченных таблеток (Y1) определена как параметр оптимизации.

Для проверки достоверности по всем данным вычисляют X – среднее арифметическое, S – стандартное отклонение и соотношение:

$$R_{\max} = \frac{|X_{\max/\min} - \bar{X}|}{\sqrt{\frac{N-1}{N}}} \quad (1)$$

где:

X_{\max} или X_{\min} – максимальное и минимальное значение из выборки данных;
 N – количество значений;
 X_{\max} и X_{\min} годны для совместной обработки, если расчетная величина R_{\max} при $N=21$ и более, не превышает 3 [2].

По результатам проверки однородности исходных данных были признаны как не достоверные значения содержание углерода в партии порошка № 4 и содержание железа в партии порошка № 30 (приложение А).

После повторной проверки данных документов о качестве соответствующих партий порошка диоксида урана указанные значения были признаны достоверными. Коэффициент корреляции (R) может принимать значения от +1 до -1. При сильной положительной корреляции R будет близок к +1, а при сильной отрицательной корреляции будет приближаться к -1. Когда R близок к 0, то это указывает на слабую корреляционную связь. Коэффициент корреляции позволяет провести количественную оценку силы связи между изучаемыми величинами [2].

Коэффициент корреляции вычисляется по формуле:

$$R = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \quad (2)$$

где:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \quad (3)$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \quad (4)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n} \quad (5)$$

Данные вычисления проводим при помощи электронной таблицы Excel. Используя встроенную функцию «КОРРЕЛ», вычисляются коэффициенты корреляции по величинам X_i и Y_i . Данные вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции независимых параметров и плотности спеченных таблеток

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Кислородный коэффициент (U/O)	Полная удельная поверхность, м ² /г	Содержание урана, %	Массовая доля влаги, %	Содержание примесей, мкг/г U		
				C	Si	Fe
-0,0111	0,2093	0,0546	0,1913	-0,0745	0,2155	0,2387

Для выявления статистически значимой связи проводится оценка значимости полученных коэффициентов корреляции.

Критерием оценки значимости коэффициента корреляции является коэффициент Стьюдента (t_p), который рассчитывается по формуле [1]:

$$t_p = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad (6)$$

Коэффициент корреляции считать значимым, если расчетное значение коэффициента Стьюдента больше табличного значения:

$$|t_p| > t_{tab} \quad (7)$$

После подстановки значений рассчитанных коэффициентов корреляции в формулу 6 получим соответствующие значения коэффициентов Стьюдента (таблица 2).

Таблица 2. Коэффициенты Стьюдента

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Кислородный коэффициент (U/O)	Полная удельная поверхность, м ² /г	Содержание урана, %	Массовая доля влаги, %	Содержание примесей, мкг/г U		
				C	Si	Fe
-0,059	1,132	0,289	1,031	-0,395	1,168	1,300

При вероятности 95,0% и количестве степеней свободы 30 табличное значение коэффициента Стьюдента равно 2,042 [2].

Значения коэффициентов корреляции по средней плотности спеченных таблеток (Y_1) указывают на отсутствие значимых факторов.

Таким образом, корреляционный анализ не выявил факторов, влияющих на плотность спеченных таблеток.

Исследуя процесс спекания топливных таблеток из диоксида урана, в рамках активного эксперимента был применен полный факторный эксперимент 2³ (ПФЭ 2³). В качестве параметра оптимизации решено принять плотность спеченных таблеток, в качестве независимых переменных:

- 1) содержание алюминия в порошке диоксида урана;
- 2) содержание добавки порообразователя азодикарбонамида;
- 3) время спекания таблеток.

Модель разрабатывалась для порошков, содержащих 7% U₃O₈ от массы порошка UO₂. Плотность прессовок составляла 5,65 г/см³. Изменение данных технологических параметров, влияющих на плотность спеченных таблеток, может привести к неправильному результату вычислений.

Известно [3], что алюминий является активатором спекания таблеток из диоксида урана, микролегирование алюминием порошка диоксида урана позволяет увеличить спекаемость порошка.

Азодикарбонамид (АДКА) является эффективным вспенивающим агентом и применяется в качестве вспенивателя (порообразователя). Исследования показывают, что введение 1% масс. АДКА приводит к снижению плотности таблеток по сравнению с реперными на 0,15 г/см³. Причем, снижение значений плотности таблеток при увеличении количества вводимого АДКА имеет зависимость, близкую к линейной.

Главной целью численных исследований является определение экстремальных, т.е. наилучших показателей процесса.

Задача – спланировать эксперимент для получения уравнения регрессии, в котором функцией отклика является плотность спеченных таблеток, и факторами: содержание алюминия, ppm; содержание порообразователя азодикарбонамида, %; период проталкивания лодок, мин. Полученное уравнение регрессии позволит определить как индивидуальное, так и совместное влияние факторов на плотность спеченных таблеток.

На основании существующего опыта по легированию и спеканию на урановом производстве, для построения плана были выбраны условия опытов: базовые уровни, интервалы варьирования, нижние и верхние уровни эксперимента (таблица 3).

Таблица 3. Независимые переменные

Факторы	X1	X2	X3
	Содержание Al, ppm	Содержание АДКА, %	Период проталкивания лодок, мин.
Базовый уровень, X_{i0}	20,5	0,35	52,5
Интервал варьирования, ΔX_i	10,5	0,35	22,5
Нижний уровень	10	0	30
Верхний уровень	31	0,7	75

Матрица планирования и кодированная матрица планирования для ПФЭ 2³ приведены в таблице 4, 5.

Таблица 4. Матрица планирования эксперимента ПФЭ 2³

№ опыта, g	X ₁	X ₂	X ₃
1	10	0	30
2	31	0	30
3	10	0,7	30
4	31	0,7	30
5	10	0	75
6	31	0	75
7	10	0,7	75
8	31	0,7	75

При планировании эксперимента приводят преобразование независимых факторов X_i в безразмерные, нормированные (таблица 5):

$$Z_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i} \quad (8)$$

Таблица 5. Кодированная матрица планирования ПФЭ 2³

g	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁ Z ₂	Z ₁ Z ₃	Z ₂ Z ₃	Z ₁ Z ₂ Z ₃
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1

4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Эксперимент проводился в лаборатории ЦНИЛ урана по режимам, имитирующим цеховые условия.

Для проведения исследований был отобран порошок двух сменных выработок, отличающийся содержанием алюминия.

Из порошков сменных выработок была подготовлена смесь с 7 % масс. U_3O_8 . В порошок загружен стеарат цинка (StZn), просеянный через сито 0,063 мм, из расчета 0,1% масс. Далее сменная выработка была разделена на две равные по массе шихтовки. В первую шихтовку был загружен порообразователь азодикарбонамид (АДКА). Проведено смешение и механическая обработка каждой шихтовки. Было добавлено остаточное количество StZn и проведено окончательное смешивание. Формование прессовок проводили на прессе ИП-100 в среднюю плотность 5,65 г/см³. Спекание прессовок проводили в печи СШВЭ-2 по двум режимам:

1. Скорость подъема температуры печи не более 100 °С в час, время выдержки 8 часов при 1750 °С, скорость охлаждения печи не более 250 °С в час.
2. Скорость подъема температуры печи не более 100 °С в час, время выдержки 16,5 часов при 1750 °С, скорость охлаждения печи не более 250 °С в час.

В каждой точке факторного пространства проводилось по $m = 10$ параллельных опытов и результаты $y_{g1}, y_{g2}, \dots, y_{gm}$ усреднялись:

$$\bar{y}_g = \frac{1}{m} \times \sum_{k=1}^m y_{gk} \quad (9)$$

где: \bar{y}_g - среднее арифметическое m параллельных опытов

Таблица 6. Результаты экспериментов: плотность спеченных таблеток

g	y _{g1}	y _{g2}	y _{g3}	y _{g4}	y _{g5}	y _{g6}	y _{g7}	y _{g8}	y _{g9}	y _{g10}
1	10,452	10,456	10,460	10,457	10,466	10,468	10,443	10,460	10,463	10,471
2	10,491	10,490	10,501	10,489	10,500	10,499	10,496	10,491	10,496	10,481
3	10,288	10,291	10,303	10,274	10,281	10,296	10,303	10,289	10,275	10,290
4	10,331	10,346	10,347	10,336	10,334	10,330	10,353	10,353	10,337	10,344
5	10,563	10,567	10,564	10,581	10,550	10,570	10,550	10,573	10,555	10,574
6	10,579	10,569	10,577	10,575	10,592	10,585	10,575	10,580	10,580	10,564
7	10,372	10,371	10,364	10,364	10,382	10,378	10,401	10,382	10,398	10,393
8	10,397	10,412	10,412	10,387	10,399	10,390	10,398	10,415	10,411	10,402

Таблица 7. Усредненные результаты экспериментов

g	\bar{y}_g	$\sum_{k=1}^m (y_{gk} - \bar{y}_g)^2$	S_g^2
1	10,460	0,000606	0,000076
2	10,493	0,000342	0,000043
3	10,289	0,000932	0,000117
4	10,341	0,000669	0,000084
5	10,565	0,000984	0,000123
6	10,578	0,000548	0,000069
7	10,381	0,001600	0,000200
8	10,402	0,000868	0,000109

Проверку однородности выборочных дисперсий S_g^2 находим по формуле:

$$S_g^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (y_{gk} - \bar{y}_g)^2 \quad (10)$$

Так как все оценки дисперсий получены по выборкам одинакового объема $m = 10$, то число степеней свободы составляет:

$$v_{\text{вос}} \quad (11)$$

Производится расчет критерия Кохрена по формуле:

$$G = \frac{\max\{S_g^2\}}{\sum_{g=1}^N S_g^2\{y\}} = \frac{0,000200}{0,000819} = 0,2443 \quad (12)$$

Вычисленное по данным эксперимента значение критерия Кохрена G оказалось меньше критического значения $G_{\text{кр}} = 0,2768$, найденного по таблице [4] для $v_{\text{вос}} = m - 1 = 9$ и $v_{\text{теор}} = N = 8$ при выбранном уровне значимости 0,05%, следовательно, дисперсии признаются однородными (нет грубых ошибок в экспериментах). Дисперсия воспроизводимости, необходимая для проверки на адекватность, определяется по формуле:

$$S_{\text{вос}}^2\{y\} = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N S_g^2\{y\} = \frac{0,000819}{8} = 0,0001 \quad (13)$$

По данным, полученным в результате экспериментов, рассчитываем коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N z_{0g} \bar{y}_g \quad (14)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N z_{ig} \bar{y}_g, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

$$b_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N z_{ig} z_{jg} \bar{y}_g, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

$$b_{i,j,k} = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N z_{ig} z_{jg} z_{kg} \bar{y}_g, \quad (i, j, k = 1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

Таблица 8. Коэффициенты уравнения регрессии

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
10,438	0,015	-0,086	0,043	0,003	-0,006	-0,004	-0,001

После расчета коэффициентов уравнения регрессии проверяем их значимость с помощью критерия Стьюдента, эмпирическое значение которого определяется:

$$t = \frac{|b|}{S\{b\}} \quad (18)$$

где:

$S\{b\}$ – дисперсия оценки коэффициентов:

$$S\{b\} = \sqrt{\frac{1}{Nm} S_{\text{вос}}^2\{y\}} = 0,001 \quad (19)$$

Таблица 9. Оценка значимости коэффициентов регрессии

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
	10,438	0,015	-0,086	0,043	0,003	-0,006	-0,004	-0,001
t	10438	15	88	43	3	6	4	1

Коэффициент регрессии считается значимым, если расчетное значение коэффициента Стьюдента больше табличного значения $t_{\text{табл}} = 2,0$ [4]. Таким образом, незначимым признан коэффициент b_{123} ($1,0 < 2,0$).

Для проверки гипотезы об адекватном математическом описании опытных данных достаточно оценить отклонение предсказанных (расчетных) полученной моделью величины отклика \hat{y}_g от результатов наблюдений \bar{y}_g в одних и тех же g -точках факторного пространства.

Таблица 10. Отклонение расчетных значений от значений, наблюдаемых в опытах

g	\bar{y}_g	\hat{y}_g	$(\bar{y}_g - \hat{y}_g)^2$
1	10,460	10,459	0,000001
2	10,493	10,495	0,000004
3	10,289	10,289	0,000000
4	10,341	10,337	0,000016
5	10,565	10,565	0,000000
6	10,578	10,577	0,000001
7	10,381	10,379	0,000004
8	10,402	10,403	0,000001

Рассеяние полученных результатов оценивается с помощью дисперсии адекватности:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{N-d} \sum_{g=1}^N (\bar{y}_g - \hat{y}_g)^2 = 0,00027 \quad (20)$$

где:

d – число членов аппроксимирующего полинома ($d=7$).

Дисперсия воспроизводимости, необходимая для проверки на адекватность определяется по формуле:

$$S_{\text{вос}}^2 \{y\} = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N S_g^2 \{y\} = \frac{0,000819}{8} = 0,0001 \quad (21)$$

с числом степеней свободы: $\nu_{\text{зн}} = N \cdot (m - 1)$.

Проверка адекватности состоит в сравнении дисперсий адекватности $S_{\text{ад}}^2$ и воспроизводимости $S_{\text{вос}}^2 \{y\}$. Проверка на адекватность проводится при помощи критерия Фишера.

Расчетное значение коэффициента Фишера определяется из соотношения:

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{вос}}^2} = \frac{0,00027}{0,0001} = 2,7 \quad (22)$$

Полученное значение критерия Фишера F сравниваем с табличным значением $F_{\text{табл}} = 4,0$ [5] для степеней свободы:

$$\nu_{1\text{ад}} = N - d = 8 - 7 = 1 \quad (23)$$

$$\nu_{2\text{ад}} = N (m - 1) = 8 \cdot (10 - 1) = 8 \cdot 9 = 72 \quad (24)$$

Так как $F < F_{\text{табл}}$ модель признается адекватной, дающей тождественное математическое описание реального процесса.

В результате статистической обработки данных активного эксперимента рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии и получена линейная математическая модель. После преобразования модели в физические величины и алгебраического упрощения, полученная модель имеет вид:

$$P = b_0 + b_1 \cdot C_{\text{Al}} + b_2 \cdot C_{\text{АДКА}} + b_3 \cdot \tau \quad (25)$$

где: P – плотность спеченных таблеток, г/см³;
 b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты;
 C_{Al} – содержание алюминия, ррт;
 $C_{\text{АДКА}}$ – содержание АДКА, %;
 τ – период проталкивания лодки, мин.

Совместные влияния факторов на плотность спеченных таблеток были исключены из уравнения, так как влияние их взаимодействий ($b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$) незначительно относительно самих факторов, b_{12} на порядок меньше b_1 и b_2 .

Модель имеет границы параметра оптимизации и способна прогнозировать плотность спеченных таблеток в диапазоне целевых значений $10,293 \div 10,576$ г/см³.

Разработанную математическую модель необходимо, проверить экспериментально-опытным путем и выбрать методику дальнейшей экспериментально-аналитической оптимизации: метод Гаусса-Зейделя, градиентный метод, метод Бокса-Уилсона и др.

Планирование эксперимента проводилось исходя из особенностей производства таблеток существующей технологии. Режимы смешения, механической обработки порошков, прессования и спекания брикетов были определены технологическим

регламентом. Используемый порошок содержал 7% закиси-оксида (U_3O_8). Прессование брикетов проводилось в плотность $5,65$ г/см³.

Разработанная модель применима для теоретического расчета при условии соблюдения технологического регламента. Отклонение от режимов может привести к несоответствию теоретического расчета и фактических значений.

Математическая модель (формула 25), полученная в результате проведения активного эксперимента, показывает количественную зависимость плотности спеченных таблеток от трех значимых параметров: содержание алюминия в порошке диоксида урана; содержание порообразователя АДКА в шихтовке, время спекания таблеток. Вводя значения параметров исходного порошка (содержание алюминия и содержание АДКА) и время спекания в уравнение, можно прогнозировать плотность получаемых спеченных таблеток.

Существующая технология производства позволяет получать топливные таблетки, удовлетворяющие предъявляемым потребителем требования к качеству таблеток (в том числе плотности). Добиться целевой плотности спеченных таблеток возможно, оценив активность к спеканию порошка диоксида урана. На сегодняшний день для оценки активности к спеканию проводится технологическое опробование порошков – «тест на спекаемость». Тест на спекаемость включает прессование брикетов без связки в определенном диапазоне давлений и спекание их в среде водорода при температуре 1750°C . Плотность определяется геометрическим методом. По результатам тестирования производится корректировка технологического регламента спекания, т.е. рассчитывается необходимое количество добавки порообразователя АДКА в шихту.

Преобразование математической модели путем выражения члена $C_{\text{АДКА}}$ (содержания АДКА, %) через заданную целевую плотность спеченных таблеток позволит определить необходимое количество порообразователя АДКА для ввода в шихту. Преобразованное уравнение будет иметь вид:

$$C_{\text{АДКА}} = \frac{b_1 \times c_{\text{Al}} + b_2 \times \tau - (P - b_0)}{b_2} \quad (26)$$

Таким образом, полученная математическая модель позволит снизить затраты на производство в результате замены технологического опробования на теоретический расчет, изложенный в технологическом регламенте. Использование данной модели позволит исключить операции по оценке активности к спеканию порошков диоксида урана, а именно приготовление тестовых брикетов, спекание в среде водорода, определение плотности спеченных таблеток.

С целью достижения требуемой плотности таблеток производится процесс выгорания пластификатора и спекание. Спекание таблеток проводится в печах непрерывного действия TER в восстановительной атмосфере водорода при температуре $1700 - 1800^\circ \text{C}$. Получаемые таблетки отличаются высоким качеством. Однако основным недостатком печи является большая энергоемкость.

Вопрос о снижении продолжительности спекания таблеток неоднократно рассматривался инженерами-исследователями лаборатории урана ЦНИЛ [6,7].

В разработанной математической модели параметр «время спекания» имеет факторное пространство периода проталкивания лодок от 30 до 75 минут. Разработанная модель дает теоретическое обоснование возможности получения таблеток, соответствующих контролируемым требованиям спецификации AREVA при изменении технологического регламента – уменьшении периода проталкивания лодок с 75 до 30 минут (уменьшении времени выдержки таблеток в высокотемпературной зоне с 16,5 до 8 часов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сырнев Б.В. Химия и технология ядерного топлива: Конспект лекций для магистрантов, обучающихся по специальности 6N0709 «Металлургия» (специализация «Порошковая металлургия»). – Усть-Каменогорск: ВКГТУ. – 2007. – 106 с.
2. Статистические методы повышения качества. *Пер. с англ. под ред. Хитоси Кумэ.* – М.: Финансы и статистика, 1990.
3. Яшин С.А., Гагарин А.Е., Маныч А.В., Бирюкова А.Г., Зорин Б.Л., Сырнев Б.В., Миргородская Е.С. Влияние микролегирования на спекаемость и микроструктуру диоксида урана. *Ж. Материаловедение* № 3 (84), 2004 г.
4. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы: Учебник. М., Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
5. *Норман Дрейпер, Гарри Смит.* Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. – 3-е изд. – М.: «Диалектика», 2007. – с. 912.
6. *Кириллов Е.В.* О возможности снижения периода спекания таблеток AFA 3G. //Сообщение 01.11.2011 г. № 49-02-02/2057.
7. *Кириллов Е.В.* О возможности уменьшения продолжительности спекания таблеток типа AFA 3G в печах TER.// Сообщение 20.04.2012 г. № 49-02-02/781.

СОДЕРЖАНИЕ

О СИЛЬНОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 28.01.2013 г. НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ (ПО СТАНЦИЯМ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА) <i>Рябенко П.В., Узбеков Р.Б.</i>	3
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАПИСИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ СТАНЦИЯМИ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ИГИ <i>Рябенко О.В. Соколов А.Н.</i>	10
БАЗА ДАННЫХ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ НА КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЯХ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА <i>Соколов А.Н.</i>	17
ИЗУЧЕНИЕ ЗАПИСЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ С ПОЛИГОНОВ ЮЖНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ <i>Узбеков А.Н., Великанова А.А.</i>	25
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В ЯДЕРНОЙ СФЕРЕ КАЗАХСТАНА <i>Абен Д.А.</i>	38
РАСЧЕТ НОРМАТИВОВ ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ОТ ОБЪЕКТОВ РГП «ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ» <i>Артемова В.А., Глущенко В.Н., Севериненко М.А., Эдомская М.А., Мильц О.С., Левашов М.А.</i>	42
РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК <i>Мильц О.С., Глущенко Г.М., Полешко А.Н., Перемитина Л.И., Артемова В.А., Севериненко М.А., Эдомская М.А.</i>	48
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ <i>Севериненко М.А., Абильмажинова Ж., Артемова В.А.</i>	52
ОПРЕДЕЛЕНИЕ БОЛЬШИХ УДЕЛЬНЫХ АКТИВНОСТЕЙ ²³⁹ Pu В ПОЧВАХ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ <i>Эдомская М.А., Желтов Д.А., Быченко А.Н., Рязанова Л.А., Мильц О.С., Глущенко Г.М., Матиенко Л.Д., Гусева Н.В.</i>	61
ВНЕДРЕНИЕ И ОТРАБОТКА МЕТОДИК В АЛЬФА-СПЕКТРОМЕТРИИ <i>Юндин А.Д.</i>	66
ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ АНИОНИТОВ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ УРАНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ ПВ <i>Адельбаев И.Е., Шокобаев Н.М.</i>	69

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПОЧКИ РЕГЕНЕРАЦИИ С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ НОРМ РАСХОДА ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ И ЛИКВИДАЦИЯ «ПРОСКОКА» Me В МАТОЧНИКАХ СОРБЦИИ В УСЛОВИЯХ ТОО «РУ-6» Байназаров Ж.	74
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КНД-м НА УРАНОВЫХ ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОН- НЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА Жондиллаева М.С., Каменев Л.И., Кошевой О.Г.	81
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ЗАКИСИ-ОКИСИ УРАНА, ПОЛУЧАЕМОЙ МЕТОДОМ ПЕРОКСИДНОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ РАСТВОРОВ ТОВАРНОГО ДЕСОРБАТА Толеубекова Ж.М.	87
МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ПСВ НА РУДНИКЕ «СЕМИЗБАЙ» Хан А.П.	111
УСЛОВИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТУРЫ КНД НА РУДНИКАХ СКВАЖИНОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ Щебельников А.А.	118
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ КАРБИДА УРАНА Алдажаров Т.М., Хлебникова И.А.	124
РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО КОРРОЗИИ ГРАФИТА Аскербеков С.К., Муканова А.О., Кенжина И.Е., Чихрай Е.В., Шестаков В.П.	131
РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРА ИГР Иркимбеков Р.А., Котов В.М., Вурим А.Д., Жагипарова Л.К., Мурзагалиева А.А.	136
НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПО НАРАБОТКЕ ТРИТИЯ И ГЕЛИЯ В БЕРИЛЛИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ Кенжина И.Е., Муканова А.О., Файзуллаева Ж.Ж., Чихрай Е.В., Шестаков В.П.	144
ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЛУЧЕННОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ЕЕ ДЛИТЕЛЬНОГО СУХОГО ХРАНЕНИЯ Кожаметов Е.А., Бакланов В.В., Даулеткелдыев А.Д., Коянбаев Е.Т., Миниязов А.Ж.	149
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СПЕКАЕМОСТЬ ТАБЛЕТОК ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ИЗ ДИОКСИДА УРАНА Ларин П.Ю., Шевченко Г.М., Карманов Б.А.	153

Формат 148x210 мм
Гарнитура Arial, кегль 9
Тираж 300.

Дизайн и верстка: Алиев С.А.

Отпечатано в типографии:
ТОО «Типография Форма Плюс», г. Караганда,
ул. Молокова, дом №106, корпус 2. КНП 710.