ISSN 1729-7516



ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 2(42), ИЮНЬ 2010

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: К.х.н. АРТЕМЬЕВ О.И., д.ф.-м.н. БАТЫРБЕКОВ Э.Г., БЕЛЯШОВА Н.Н., к.ф.-м.н. ВОЛКОВА Т.В. к.т.н. ГИЛЬМАНОВ Д.Г., д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – заместитель главного редактора, к.б.н. КАДЫРОВА Н.Ж., к.ф.-м.н. КЕНЖИН Е.А., д.ф.-м.н. КОПНИЧЕВ Ю.Ф., д.г.-м.н. КРАСНОПЕРОВ В.А., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., д.т.н. МУКУШЕВА М.К., д.г.-м.н. НУРМАГАМБЕТОВ А.Н., д.б.н. ПАНИН М.С., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е., д.т.н. САТОВ М.Ж., д.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П.

# ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

2(42) ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2010 ЖЫЛ

# NNC RK Bulletin

RESEARCH AND TECHNOLOGY REVIEW NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSUE 2(42), JUNE 2010

Сообщаем Вам, что периодический научно-технический журнал "Вестник НЯЦ РК", решением Комитета по надзору и аттестации в сфере науки и образования включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций:

- по физико-математическим наукам,
- по специальности 25.00.00 наука о Земле.

В журнале первая часть докладов, представленных на X ежегодной конференции-конкурсе НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК (17 - 19 мая 2010 г., Курчатов, Казахстан). Было представлено 35 работ. Из них фундаментальных – 6, прикладных – 18, инженерно-технических – 11. Вторая часть докладов будет опубликована в 4 выпуске журнала Вестник НЯЦ РК 2010года.

# Первое место присуждено:

**ГОРДИЕНКОТ Дмитрию Дмитриевичу** – младшему научному сотруднику Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ) ДГП ИГИ НЯЦ РК.

#### Второе место присуждено:

**КАШИРСКОМУ Владимиру Владимировичу** – руководителю группы спектрометрических исследований, отдела радиационных исследований и восстановления экосистем ДГП ИРБЭ НЯЦ.

**ЖОЛДЫБАЕВУ Тимуру Кадыржановичу** – научному сотруднику лаборатории ядерных процессов ДГП ИЯФ НЯЦ РК.

#### <u>Третье место присуждено:</u>

**РУБАНУ Сергею Владимировичу –** инженеру лаборатории радиационного материаловедения ДГП ИЯФ НЯЦ РК.

**ЖАКАНБАЕВУ Елдару Асхатовичу** – младшему научному сотруднику лаборатории ионноплазменных технологий ДГП ИЯФ НЯЦ РК.

**ИЗБАСХАНОВОЙ Алие Турсуновне** – ведущему инженеру службы технологической реакторного комплекса ИГР ДГП ИАЭ НЯЦ РК.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ НЯЦ РК
Гордиенко Д.Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОШЕНИЙ АКТИВНОСТИ <sup>241</sup> Ри И <sup>241</sup> Ат В ПОЧВЕ ОСНОВНЫХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК СИП
Каширский Б.Б., Лукашенко С.П., Коровина О.Ю., Шатров А.П.
ИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ РЕАКЦИЙ <sup>120</sup> Sn (p,xp) и (p,xa) ПРИ Ep = 30.0 МэВ 19 Жолдыбаев Т.К., Дуйсебаев А.Д., Дуйсебаев Б.А., Садыков Б.М.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ «ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИИ» В НЕОБЛУЧЁННОЙ И ОБЛУЧЁННОЙ НЕЙТРОНАМИ МЕТАСТАБИЛЬНОЙ СТАЛИ 12X18H10T
ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУР НА СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДНИКА
ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РЕАКТОРА ИГР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА МАТЕРИАЛОВ
ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ В АРМКО-ЖЕЛЕЗЕ И СТАЛИ СТЗ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ И АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ
ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ И ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ МЕДИ И СТАЛИ 12X18Н10Т В УСЛОВИЯХ СЛОЖНО- НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
ОПРЕСНИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С КОНТАКТНЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ
ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ШТОЛЬНЯХ ПЛОШАЛКИ «ЛЕГЕЛЕН»
Мустафина Е.В., Лукашенко С.Н., Осинцев А.Ю., Брянцева Н.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКТОРА С НАБОРАМИ ТВС ОТЛИЧАЮЩИХСЯ СПЕКТРОМ НЕЙТРОНОВ
Котов В.М., Дудко А.С.
СОЗДАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ НИЗКО – И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КАМЕР И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННО–ПЛАСТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ОБЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ
СОЗДАНИЕ КОРПОРАТИВНОИ ИНФОРМАЦИОННОИ СИСТЕМЫ ПО ПРОБЛЕМАМ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИНЖЕКЦИИ ПРИМЕСНЫХ МЕССБАУЭРОВСКИХ АТОМОВ В ХОДЕ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ВОДОТОКОВ ИЗ ШТОЛЕН ГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СНИЖЕНИЮ ДАВЛЕНИЯ В ПОЛОСТЯХ ОБЪЕКТА ЛИРА 103 Артёмова В.А. Глущенко В.Н., Севериненко М.А., Кабдрахимова Г.Д.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ТЕРРИТОРИЙ СИП 108 Кабдрахимова Г.Д., Кудряшев В.А., Артемова В.А., Севериненко М.А.
ЭТАЛОННЫЕ КАРЬЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ИЗУЧЕНИИ СЕЙСМИЧНОСТИ СЛАБОАКТИВНЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА
СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ р. ШАГАН И ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ
ОЦЕНКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМИ ЛУГОВОГО БИОГЕОЦЕНОЗА
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УРАНА В МОЧЕ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ
СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНСПЕКЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ СИП 149 Беляшов А., Мукушева М., Шайторов В., Ефремов М., Дроздов А.
<b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПАКЕТА КРУГЛЫХ ПЛАСТИН 161</b> Берикханова Г.Е.
ХАОС И ПОРЯДОК В ЭЛЕКТРОННЫХ СПЕКТРАХ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ СИСТЕМ НА ПЕРЕХОДЕ МЕТАЛЛ-ИЗОЛЯТОР

# ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ НЯЦ РК

Гордиенко Д.Д.

#### Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

По данным трех широкополосных станций сети НЯЦ РК: Акбулак (ABKAR), Маканчи (MKAR), Подгорное (PDG) изучены временные вариации сейсмических шумов в широком диапазоне периодов за 2005 - 2009 гг. Показано, что для периода 0.1 с наблюдается высокая корреляция уровня спектральной плотности сейсмического шума с техногенной деятельностью. По станции Подгорное для периода 1,7 с выявлена высокая корреляция экстремальных значений спектральной плотности сейсмического шума со штормами на оз. Иссык-Куль. Для периода 6 с, связанного с океаническими микросейсмами, выделены годовые и сезонные вариации, а также вариации с периодом 14 суток спектральной плотности сейсмического шума, связанные с лунно-солнечными приливами.

#### Введение

Одним из эффективных методов контроля работы регистрирующих систем является мониторинг сейсмического шума [3, 4]. Метод основан на том, что для каждой станции определяются специфические параметры сейсмического шума, зависящие как от условий месторасположения самой станции - геологических, удаленностью от источников помех, так и от характеристик аппаратуры. Изучение наиболее вероятных характеристик шума и его естественных вариаций необходимо в широком спектральном диапазоне, что позволяет путем сравнения текущих расчетных значений шума с предварительно построенной моделью выявлять случаи аномального отклонения параметров шума от своих нормальных значений. В таких случаях можно говорить, например, о выходе из строя систем регистрации, об ошибках в базе данных при описании характеристик приборов и др. Изучение вариаций параметров шума может быть использовано для мониторинга природных явлений, таких как океанический шторм, а также в исследованиях напряженно-деформированного состояния геологической среды и прогноза землетрясений, который основывается на присутствии в составе шума информативных эндогенных компонент. Известны работы российских ученых, в которых показана перспективность изучения микросейсм глубинного и поверхностного происхождения для выявления структурных неоднородностей среды, например, разломов. В связи с этим, изучение пространственно-временных вариаций сейсмического шума по данным широкополосных сейсмических станций является важной и актуальной задачей сейсмического мониторинга.

Для обеспечения систематического мониторинга уровня сейсмического шума на разных станциях и разных частотах проведена работа по созданию базы данных динамических параметров сейсмического шума.. За основу создаваемой базы данных взят сервер базы данных MySQL5.0, выбор которого обусловлен необходимостью наиболее глубокой интеграции новой базы данных как с web-сервером, так и другими web-приложениями и базами данных, работающими под управлением MySQL [1, 2]. Таблицы базы данных сейсмического шума включены в общую концептуальную модель базы данных web-сайта Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ), что позволяет осуществлять многотабличные подчиненные запросы к данным из различных таблиц и баз данных, объединенных одинаковыми ключевыми полями.

Структура и содержание базы данных сейсмического шума включает одну основную и две дополнительных таблицы. Основная таблица - noise, содержит разделенные по ключевому полю вариации дневного и ночного сейсмического шума по станциям НЯЦ РК. Данные для заполнения этой таблицы взяты из текстовых файлов, формируемых вручную. Для расчета спектральной плотности сейсмического шума использованы данные по 13 сейсмическим станциям НЯЦ РК из архивов в формате SEED (Standart for the Exchange of Earthquake Data). Данные преобразовывались в формат CSS3.0 (Center for Seismic Studies v.3.0) и по ним выбирались 10-и минутные отрезки записей без сейсмических событий или коды сильных землетрясений. Для анализа использованы каталоги событий по глобальным мировым сетям NEIC (National Event Information Center каталог Геологической службы США, USGS) и REB (Reviewed Event Bulletin - каталог Международного центра данных ОДВЗЯИ), а также региональный интерактивный сейсмический бюллетень ЦСОССИ. Выбирались фрагменты записей за ночное (17 - 18 ч. GMT) и дневное время (7 - 8 ч. GMT). Расчет динамических параметров микросейсмических помех производился путем построения спектров плотности сейсмического шума при помощи программного обеспечения POWER (разработанного в Ламонт-Дохертской обсерватории Колумбийского университета США) и специально написанных утилит для каждой компоненты трехкомпонентных широкополосных станций, входящих в состав сети НЯЦ РК [3, 4]. В результате расчетов, отдельно для каждой станции, каждой компоненты, для дня и ночи были рассчитаны значения спектральной плотности сейсмического шума по данным за период времени 2005 -2009 гг. На следующем этапе полученные из текстовых файлов данные, при помощи программы-конвертора были загружены в базу данных сейсмического шума, в таблицу Noise. На рисунке 1 приведена структурная схема организации данных в таблице Noise.



Рисунок 1. Структурная схема организации данных в таблице Noise базы данных спектральной плотности сейсмического шума

Для каждого значения спектральной плотности сейсмического шума, кроме названия станции, канала и частоты, введена дата, формируемая как год и номер дня в году. Информация о содержимом базы данных о спектральной плотности сейсмического шума за период 2005 - 2009 гг. по сейсмическим станциям НЯЦ РК приведена в таблице 1.

Таблица 1. Сводная информация по станциям и каналам
сейсмической сети НЯЦ РК, для которых рассчитаны
и занесены в базу данные о спектральной плотности
сейсмического шума за период 2005- 2009 гг.

Станция	Канал	Станция	Канал
ABKAR	BHE	BHE KURK	
ABKAR	BHN	MKAR	BHE
ABKAR	BHZ	MKAR	BHN
AKTK	BH1	MKAR	BHZ
AKTK	BH2	PDG	BHE
AKTK	BHE	PDG	BHN
AKTK	BHN	PDG	BHZ
AKTK	BHZ	VOS	BHE
BRVK	BHE	VOS	BHN
BRVK	BHN	VOS	BHZ
BRVK	BHZ	ZRNK	BHE
BVAR	BH1	ZRNK	BHN
BVAR	BH2	ZRNK	BHZ
BVAR	BVAR BHZ		BH1
CHKZ	BHE	AKTO	BH2
CHKZ	BHN	AKTO	BHZ
CHKZ	BHZ	KNDC	BHE
KKAR	BHE	KNDC	BHN
KKAR	BHN	KNDC	BHZ
KKAR	BHZ	KUR21	BH1
KURK	BHE	KUR21	BH2
KURK	BHN	KUR21	BHZ

Общее количество рассчитанных и занесенных в базу данных значений спектральной плотности сейсмического шума - порядка 450 миллионов. Общий объем базы данных - порядка 7 Гб. Для примера на рисунке 2 показана таблица базы данных Noise, с заполненными значениями спектральной плотности шума по станции MKAR-Маканчи за 2007 г.

Как видно из рисунка 2, кроме значений спектральной плотности шума, в базе данных ведется статистический контроль занесенных значений, такой как расчет максимальных и минимальных значений спектральной плотности шума (psd) для каждой частоты (периода), количество дней, для которых были рассчитаны эти значения, а также номера дней с максимальными и минимальными значениями psd. Заполнение базы данных ведется либо вручную при помощи web-интерфейса, либо автоматически по мере поступления новых текстовых данных с рассчитанными значениями спектральной плотности шума. Для работы с базой данных сейсмического шума, заполнения таблиц, построения моделей и решения различных прикладных задач в настоящее время создано специальное клиентское приложение. Основными функциями приложения являются: 1) представление данных, находящихся в базе данных; 2) автоматическое или ручное заполнение базы данных файлами суточной вариации сейсмического шума; 3) экспорт данных из базы данных в некоторые другие форматы, такие как xls, txt, html; 4) фильтрация, сортировка данных по различным параметрам, выбор временных промежутков и вывод только определенных дней для анализа различных вариаций; 5) построение различных моделей сейсмического шума на основе данных, представленных в базе, с возможностью учета сезонных и других вариаций; 6) построение графиков сейсмического шума на основе моделей, содержащихся в базе данных; 7) включение в базу данных ранее построенных моделей сейсмического шума; 8) построение отчетов, вывод предупредительных сообщений в случае резкого отклонения суточных вариаций сейсмического шума от модели сейсмического шума. Ниже приведены примеры временных вариаций динамических параметров сейсмического шума для разных диапазонов частот, связанных как с техногенными, так и с природными явлениями.

даннь	BHBIE - KNOCWEDSICEJIOCAINOSCI																			
2	1		n k	1	• 000	N N		🙇   🖄	<b>.</b>											
	DKEY	YEARS	STA	CHAN	FREQ	PER	DCOUNT	MINPSD	MAXPSD	DAY1	DAY2	DAY3	DAY4	DAY5	DAY6	DAY7	DAY8	DAY9	DAY1	^
4202	d	2007	MKAR	BHZ	0,61035	1,6384	337	-158,0880	-128,3700	(null)	(null)	-144,072	-149,775	-142,942	-138,782	(null)	-145,063	-143,371	-145,!	
4203	d	2007	MKAR	BHZ	0,61523	1,6254	337	-156,7520	-130,1680	(null)	(null)	-145,812	-147,779	-145,166	-139,693	(null)	-148,486	-144,556	-147	
4204	d	2007	MKAR	BHZ	0,62012	1,6126	337	-157,7060	-133,3120	(null)	(null)	-150,984	-144,846	-151,211	-139,217	(null)	-148,13	-146,174	-148,:	
4205	d	2007	MKAR	BHZ	0,625	1,6000	337	-156,3880	-131,6300	(null)	(null)	-146,344	-142,751	-149,793	-140,056	(null)	-147,665	-148,423	-150	
2526	d	2008	MKAR	BHZ	0,55664	1,7965	347	-158,5910	-126,1580	-143,509	-144,902	-146,851	-145,514	-145,946	-144,929	-147	-147,063	-156,306	-148,:	
2527	d	2008	MKAR	BHZ	0,56152	1,7809	347	-158,6970	-127,0700	-147,97	-145,111	-149,036	-149,65	-147,25	-145,821	-145,557	-147,819	-154,701	-147,	
2528	d	2008	MKAR	BHZ	0,56641	1,7655	347	-158,9260	-129,8200	-148,165	-146,257	-152,087	-149,015	-145,482	-147,585	-144,524	-149,882	-147,948	-147	
2529	d	2008	MKAR	BHZ	0,57129	1,7504	347	-156,6470	-129,1300	-148,492	-146,22	-149,392	-148,26	-149,096	-150,516	-146,491	-150,831	-145,366	-150,	
2530	d	2008	MKAR	BHZ	0,57617	1,7356	347	-158,0190	-128,6450	-148,937	-144,378	-145,505	-149,261	-148,17	-149,434	-144,795	-147,453	-144,455	-150,	
2531	d	2008	MKAR	BHZ	0,58105	1,7210	347	-155,7600	-130,3000	-141,622	-142,319	-145,46	-148,19	-145,434	-147,705	-144,997	-144,503	-147,063	-149,	
2532	d	2008	MKAR	BHZ	0,58594	1,7067	347	-158,1530	-127,9640	-145,394	-142,652	-144,661	-149,346	-148,776	-144,029	-151,73	-145,834	-147,574	-150,	
2533	d	2008	MKAR	BHZ	0,59082	1,6926	347	-158,0950	-126,2250	-147,47	-142,844	-146,025	-147,784	-150,723	-145,717	-147,867	-151,02	-151,41	-149,	
2534	d	2008	MKAR	BHZ	0,5957	1,6787	347	-158,7860	-128,1750	-144,77	-143,739	-147,907	-147,367	-145,794	-149,346	-145,56	-148,127	-150,468	-150,	_
2535	d	2008	MKAR	BHZ	0,60059	1,6650	347	-156,5040	-129,0400	-144,453	-145,292	-144,793	-144,312	-145,75	-148,503	-147,294	-147,531	-148,983	-151	
2536	d	2008	MKAR	BHZ	0,60547	1,6516	347	-158,2390	-128,6000	-144,797	-142,874	-145,47	-144,819	-148,331	-145,568	-149,131	-152,311	-147,513	-146,	
2537	d	2008	MKAR	BHZ	0,61035	1,6384	347	-161,2560	-131,9230	-148,279	-140,74	-147,453	-151,461	-152,287	-145,244	-150,262	-151,294	-147,585	-151,	=
2538	d	2008	MKAR	BHZ	0,61523	1,6254	347	-158,9780	-131,3240	-147,079	-142,719	-148,748	-152,834	-148,167	-150,486	-148,294	-150,902	-146,881	-153,:	
2539	d	2008	MKAR	BHZ	0,62012	1,6126	347	-157,6800	-130,3980	-144,406	-142,485	-151,169	-153,107	-145,369	-148,441	-147,883	-149,099	-146,763	-150,:	
▶2540	d	2008	MKAR	BHZ	0,625	1,6000	347	-162,4990	-132,0970	-148,467	-142,691	-150,78	-154,162	-150,278	-147,501	-147,471	-150,937	-147,016	-149,!	
H4 4	Запись	60 из 60	► ₩	+	/ × <														>	-

Рисунок 2. Таблица базы данных Noise по станции МКАR-Маканчи за 2007 г.

Основная частота природных микросейсм относится к низкочастотному диапазону с периодами от 2 с до 100 с и больше. Наиболее распространенные микросейсмы (океанические штормы) представляют собой более или менее регулярные колебания с периодом около 6 с. Микросейсмы распространяются на сотни и тысячи километров и являются материковым феноменом. Они коррелируются со штормовыми погодными условиями в отдельных прилегающих к океану регионах и могут продолжаться от нескольких часов до нескольких дней или недель. Для океанических микросейсм часто характерны устойчивые сезонные изменения как по уровню сигнала, так и основному периоду. Для техногенного шума характерны частоты в диапазоне периодов 0.2 - 0.1 с. Техногенный шум записывается стандартными приборами на эпицентральном расстоянии, обычно не превышающем десятки километров, и поэтому имеет значение только как местное событие. В статье рассмотрены три следующих диапазона частот: 0.1 с – антропогенная деятельность; 1.7 с – штормы оз. Иссык-Куль; 6 с - океанические штормы. На рисунке 3 приведены временные вариации сейсмического шума по станциям Акбулак – ABKAR, Маканчи – MKAR, и Подгорное – PDG для дневного и ночного времени.

Из рисунка 3 видно, что для станций Акбулак, Маканчи вариации дневного и ночного шума незначительны. Это обусловлено тем, что сейсмометры на данных станциях установлены в скважинах, а сами станции удалены от населенных пунктов. Из графиков следуют выводы о возникающих периодически либо неисправности в работе аппаратуры, либо активной техногенной деятельности вблизи станции. Так, например, на станции Маканчи, начиная с октября 2009 г. уровень высокочастотного сейсмического шума значительно вырос, что связано с работой в это время дробилки в непосредственной близи от нее. Высокочастотные шумы быстро затухают с расстоянием, что свидетельствует о том, что такие вариации шумов носят локальный характер. Совершенно иной характер вариаций спектральной плотности сейсмического шума наблюдается для станции Подгорное. Здесь наблюдаются существенные вариации сейсмического шума в дневное и ночное время (10 дБ). Это связанно с тем, что станция, находящаяся на окраине поселка, установлена в приповерхностном бункере. В [5] проанализированы значения спектральной плотности сейсмического шума по данным станции Подгорное для каждого часа в течение недели, для зимнего и летнего периода. Показано, что в летнее время техногенный шум гораздо выше, чем в зимнее время.

Другим интересным явлением, регистрируемым на сейсмограммах ряда казахстанских станций, являются штормы оз. Иссык-Куль. В ряде публикаций [5, 6] отмечено влияние штормов озера Иссык-Куль на спектральную плотность сейсмического шума в диапазоне периодов от 1.5 до 2.2 с для северотяньшаньских станций [6]. На рисунке 4 представлен пример спектральных кривых сейсмического шума по станции Подгорное во время штормов.



Рисунок 3. Временные вариации уровня спектральной плотности сейсмического шума с периодом 0.1 с для станций: а - Акбулак, б – Маканчи, в – Подгорное. Z-компонента



Рисунок 4. Станция Подгорное. Спектральные кривые сейсмического шума для дня и ночи во время штормов на озере Иссык-Куль. Z- компонента

Приращение уровня спектральной плотности шума  $\delta S$  (dB) в штормовые дни по отношению к дням без шторма уменьшается по логлинейному закону с удалением станций от озера [6]:

#### δS=43,3-16,5\*lg(Δ, км)

Самой далекой станцией сети НЯЦ РК, на которой зарегистрировано влияние озера Иссык–Куль, является станция Каратау (440 км). Среднее количество штормовых дней на озере Иссык-Куль составляет 23 - 25% в год, поэтому анализ временных вариаций спектральной плотности сейсмического шума с периодом 1.7 с представляет большой интерес для станций, расположенных вблизи озера Иссык-Куль. На рисунке 5 приведен пример временных вариаций спектральной плотности сейсмического шума, построенных для периода 1.7 с по сейсмической станции Подгорное, расположенной на расстоянии 110 км от озера Иссык-Куль за период времени март - июнь 2005 г.



Рисунок 5. Станция Подгорное. Временные вариации уровня спектральной плотности сейсмического шума для периода 1.7 с. Z-компонента

На график нанесены периоды времени, в которые наблюдались штормы на Иссык-Куле, полученные по независимым данным. Для сейсмической станции Подгорное наблюдается высокая корреляция экстремальных значений спектральной плотности сейсмического шума для периода 1.7 с со штормами на озере. Таким образом, анализируя динамические параметры сейсмического шума в диапазоне периодов 1.5-2.3 с для сейсмических станций, расположенных на близких эпицентральных расстояниях от озера Иссык-Куль, можно с большой вероятностью выявлять наличие шторма в определенный день, а также судить об его интенсивности.

На основе такой информации можно рекомендовать аналитикам определенный набор частотных фильтров, минимизирующих влияние штормовых микросейсм на сейсмическую запись события. На рисунке 6 приведены временные вариации спектральной плотности сейсмического шума для периода 1.7 с по станциям Маканчи и Акбулак за 2005 -2009 гг. Для этих станций корреляции со штормами на озере Иссык-Куль не наблюдается, из-за их большой удаленности от озера, но отчетливо выделяются годовые, сезонные вариации, а также вариации с периодом 14 суток, связанные с лунно-солнечными приливами и другими природными факторами.



Рисунок 6. Временные вариации спектральной плотности сейсмического шума для периода 1.7 с для станций. Z-компонента

На рисунке 7 показаны временные вариации сейсмического шума для периода 6с по станциям Акбулак, Маканчи и Подгорное, связанного с океаническими штормами.

Для всех станций наблюдаются четко выраженные сезонные вариации, максимум амплитуд наблюдается в зимнее время, минимум – в летнее время. Кроме того, наблюдаются вариации связанные с лунными приливами с периодом 14 суток. На рисунке 8 сопоставлены уровня сейсмического шума для трех станций.

Как видно из рисунка 8, наблюдается высокая корреляция уровней шумов на периодах 6с для всех трех казахстанских станций, которая свидетельствует о глобальности регистрируемого процесса. Таким образом, изучая временные вариации сейсмического шума можно изучать как глобальные, так и региональные процессы естественной и техногенной природы, также контролировать работу регистрирующих систем.





Рисунок 7. Временные вариации уровня спектральной плотности сейсмического шума для периода 6 с для станций. Z-компонента



Рисунок 8. Сопоставление уровня спектральной плотности сейсмического шума с периодом 6 с по станциям Подгорное, Маканчи, Акбулак. Z-компонента

# Заключение

В ЦСОССИ создана и постоянно пополняется база данных сейсмических шумов достаточно большой представительности. Создано клиентское приложение, позволяющее осуществлять необходимые выборки для визуализации графиков, моделей и др.

Установлено, что для периода 0.1 с наблюдается высокая корреляция уровня спектральной плотности сейсмического шума с техногенной деятельностью. Наблюдаются временные вариации в зависимости от времени суток и дня недели. Наибольшая разница между уровнем дневного и ночного сейсмического шума наблюдается для станции Подгорное, расположенной в приповерхностном бункере на окраине поселка. Для периода 1.7 с выявлена высокая корреляция экстремальных значений спектральной плотности сейсмического шума со штормами на оз. Иссык-Куль. Анализ этих данных позволяет не только выявлять наличие шторма в определенный день и судить об его интенсивности, но и рекомендовать для аналитиков определенный набор частотных фильтров, минимизирующих влияние штормовых микросейсм на сейсмическую запись события.

Для периода 6 с, связанного с океаническими микросейсмами, отчетливо выделены годовые, сезонные вариации, а также вариации с периодом 14 суток, совпадающие с лунно-солнечными приливами, и другими природными факторами. Наблюдается высокая корреляция спектральной плотности сейсмического шума для периода 6 с по всем станциям НЯЦ РК, что говорит о глобальности процесса.

Базу данных динамических параметров сейсмического шума планируется использовать для научных исследований временных вариаций сейсмического шума в связи подготовкой сильных землетрясений, по выявлению природы источников слабых сейсмических сигналов и др.

### Литература

- Гордиенко, Д.Д. Интегрированная база данных результатов обработки разных уровней интерактивности и её использование в прикладных задачах сейсмомониторинга. / Д.Д. Гордиенко // Сборник трудов конференции конкурса молодых учённых (14-15 мая 2003 г.), Курчатов. ИАЭ НЯЦ РК, 2003. С. 175.
- Гордиенко, Д. Д. Базы данных, архивы и системы хранения информации в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации ИГИ НЯЦ РК / Д. Д. Гордиенко [и др.] // Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: тез. докл. Четвертая Международная конференция, Боровое, 14-18 августа 2006 г. – Курчатов: НЯЦ, 2006. С 42-44.
- Синёва, З.И. Изучение динамических характеристик сейсмического шума по данным цифровых станций казахстанской сети. / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК: Геофизика и проблемы нераспространения. -2000. – Вып. 2. – С. 24 – 30.
- Михайлова, Н.Н. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным Казахстанских станций мониторинга / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК. – 2006. – Вып. 2. – С. 19 – 26.
- Соколова, И.Н. Модель сейсмического шума по наблюдениям сейсмической станции «Подгорное» / И.Н. Соколова, А.С. Мукамбаев // Вестник НЯЦ РК. – 2007. – Вып. 3. – С. 111 – 117.
- Соколова, И.Н. О характеристиках сейсмического шума на периодах, близких к 1,7 с, по данным станций Северного Тянь-Шаня / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2008. – Вып. 1. – С. 48-53.

# ҚР ҰЯО СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ ШУДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ УАҚЫТТЫЛЫҚ ВАРИАЦИЯЛАРЫ

# Гордиенко Д.Д.

# ҚР ҰЯО геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

ҚР ҰЯО желісінің үш кеңжолақы станияларының: Ақбұлақ (ABKAR), Мақаншы (MKAR), Подгорное (PDG) деректері бойынша 2005-2009 ж.ж. үшін периодтардың кең ауқымында сейсмикалық шудың уақыттылық вариациялары зерделенген. 0,1 с. периоды үшін сейсмикалық шудың спектрлік тығыздығы техногендік әрекетпен жоғары байланысы бар болуы көрсетілген. Подгорное старнциясы бойынша 1,7 с. периоды үшін сейсмикалық шудың спектрлік тығыздығының экстремаль мәндері Ыстық көлдегі дауылдармен жоғары байланысы болуы анықталған. Мұхиттің микросейсмоларымен байланысты 6 с. периоды үшін жылдық, маусымдық вариациялары, сондай-ақ, ай мен күнге байланысты судың көтерілуімен байланысқан сейсмикалық шудың спектрлік тығыздығының 14 тәулік периодымен вариациялары белгіленген.

## TEMPORAL VARIATIONS OF SEISMIC NOISE PARAMETERS BY NNC RK STATIONS DATA

# D.D. Gordienko

# Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Temporal variations of seismic noise in broad range of periods for 2005-2009 were studied using data of three broadband stations of NNC RK network: Akbulak (ABKAR), Makanchi (MKAR), and Podgornoye (PDG). It was shown that for period of 0.1 s high correlation was observed for spectral density of seismic noise with industrial activity. For Podgornoye station for 1.7 s period high correlation was revealed for extreme values of seismic noise spectral density with storms in Issyk-Kul Lake. For period of 6 s related to oceanic microseism, year and seasonal variations are observed as well as variations with 14 days period of spectral density of seismic noise connected with both lunar and solar tides.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОШЕНИЙ АКТИВНОСТИ <sup>241</sup>Ри И <sup>241</sup>Ат В ПОЧВЕ ОСНОВНЫХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК СИП

#### Каширский В.В., Лукашенко С.Н., Коровина О.Ю., Шатров А.Н.

#### Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В данной работе описывается методика определения <sup>241</sup>Pu в почве, приведены активности <sup>241</sup>Pu и <sup>241</sup>Am в пробах почвы отобранных на основных испытательных площадках СИП, рассчитаны отношения <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am в почве основных испытательных площадках СИП, проведен теоретический расчет возможных отношений <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am в почве площадки «Опытное поле». Показанна возможность проведения оценки активности <sup>241</sup>Pu по результатам гамма-спектрометрического анализа <sup>241</sup>Am.

#### Введение

Радиоэкологическая ситуация на Семипалатинском испытательном полигоне хорошо изучена и казалось бы с течением времени должна только улучшаться за счет распада дозообразующих радионуклидов. Однако имеет место факт увеличения активности одного из основных дозообразующих радионуклидов – <sup>241</sup> Ат. <sup>241</sup> Ат продукт распада <sup>241</sup> Ри, содержание которого в оружейном Ри на порядок больше активности <sup>239</sup>Ри, который «привыкли» определять в объектах окружающей среды по причине относительной простоты и известности радиохимического метода. Обладая относительно небольшим периодом полураспада (14 лет), <sup>241</sup>Ри быстро распадается в <sup>241</sup>Am ( $T_{1/2}$  = 432 года). Примерно через 60 лет на СИП активность <sup>241</sup>Ат достигнет своего максимального значения, которая, учитывая период полураспада, в ближайшем будущем изменяться не будет. За этот же период времени активность таких элементов как <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs уменьшится в четыре раза. Таким образом, вклад <sup>241</sup>Am в радиологическую обстановку СИП с течением времени будет только возрастать. Для качественного прогнозирования изменения радиологической обстановки с течением времени необходимо знать распределение <sup>241</sup>Pu на территории СИП в данный момент.

Определение <sup>241</sup>Ри задача достаточно сложная. За все время существования полигона было проведено не более нескольких десятков определений, причем нам эти данные не известны. Далеко не все ведущие радиохимические лаборатории мира имеют методики определения <sup>241</sup>Ри. Для детального изучения распределения <sup>241</sup>Ри. Для детального изучения распределения <sup>241</sup>Ри на территории полигона, учитывая его площадь, необходимо проанализировать несколько десятков тысяч проб. С учетом себестоимости анализа и доставки проб в зарубежную лабораторию, подобные исследования получаются нецелесообразно дорогими.

Значительно более дешевым вариантом оценки концентрации <sup>241</sup>Pu является ее расчет по концентрации <sup>241</sup>Am являющимся продуктом распада <sup>241</sup>Pu. Однако это возможно если отношение концентраций <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am известно и является постоянным хотя бы в пределах локальных площадок СИП.

Целью данной работы было исследование отношений активности <sup>241</sup>Ри и <sup>241</sup>Ат в почве основных испытательных площадок СИП.

Для достижения цели в рамках данной работы было поставлено две задачи:

- Разработать радиохимическую методику определения <sup>241</sup>Ри
- Определить отношение концентраций <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am в почве СИП.

# Литературный обзор

Отличительной особенностью <sup>241</sup>Pu, как бета – излучателя, является крайне низкая энергия излучения ( $E_{max} = 20,8$  кэВ), что в свою очередь накладывает определенные ограничения на измерения его активности.

Для регистрации мягкого бета – излучения могут быть использованы все ионизационные приборы, использующие газ в качестве рабочей среды, такие как пропорциональные счетчики, ионизационные камеры. Подобные приборы имеют 100 % эффективность регистрации и максимальную чувствительность только в том случае, если измеряемое вещество введено в состав рабочего газа. Это требует специальных методов подготовки счетных образцов и ставит вопрос о необходимости очистки стенок камеры после каждого измерения [1].

Жидко - сцинтилляционные методы регистрации, также основаны на растворении измеряемого вещества в коктейле. В области низких энергий, свойственных <sup>241</sup>Ри и <sup>3</sup>Н, наблюдается уменьшение эффективности регистрации, вследствие гашения сцинтилляций. Данные эффекты корректируются построением кривой гашения. Полупроводниковые детекторы для регистрации мягких бета – излучений пока применения не нашли.

В работе [2] описывается жидко - сцинтилляционное определение <sup>241</sup>Pu в пробах окружающей среды. Метод определения основан на соосаждении изотопов плутония с фторидом церия с последующей альфа – спектрометрией для определения химического выхода. После альфа - спектрометрии фильтр растворяется в ацетоне и переносится на стальной диск, который помещается в жидко - сцинтилляционный коктейль. Измерение <sup>241</sup>Pu осуществляется на жидко - сцинтилляционном бета – спектрометре. Окно регистрации было выбрано с 0.5 кэВ по 7.0 кэВ. Эффективность регистрации в выбранном окне определялась с помощью метки <sup>241</sup>Pu известной активности.

Определение активности изотопов <sup>239+240</sup>Pu и <sup>241</sup>Pu проводится и в лаборатории изотопов и электронной микроскопии (Аграрный университет, Норвегия) [3]. Методика определения основана на соосаждении плутония с гидроксидом железа и оксалатом кальция с последующей анион–обменной хроматографией. Для определения химического выхода в начале радиохимической подготовки в пробу вносится трассер Pu. Конечный органический раствор измеряется на жидко-сцинтилляционном бета–спектрометре. Химический выход для пробы морской воды объемом 100 л лежит в диапазоне 25 – 50 %, для 40 гр озоленной почвы 30 – 60 %. Эффективность регистрации для  $^{239+240}$ Pu составила почти 100 %, для  $^{241}$ Pu - 48,8 %. Предел обнаружения по  $^{241}$ Pu – 2,2 мБк.

Источник [4] не дает описания самой методики определения <sup>241</sup>Pu, однако сообщается, что при калибровке по эффективности регистрации жидкосцинтилляционного бета–спектрометра, в качестве бета – излучателя использовался тритий. Следует отметить, что в работе по определению абсолютной альфа–активности плутония в пробах вещества [5], <sup>241</sup>Pu рассматривался как мешающий радионуклид и определение его зоны регистрации, также осуществлялось по тритию.

При определении радионуклидного состава горячих частиц, образовавшихся при взрыве энергоблока Чернобольской АЭС, использовалась альфа – линия <sup>241</sup>Ри с квантовым выходом  $2,04 \times 10^{-3}$ % [6]. С большой долей уверенности можно предположить, что данный метод имеет не самый лучший предел обнаружения.

В качестве резюме можно представить работу [7] в которой кратко описываются и апробируются пять методик определения <sup>241</sup>Pu в пробах вещества. Следует отметить две из них. В первой, определение <sup>241</sup>Pu основано на приращении активности <sup>241</sup>Am. Счетный образец хранится в течение 2-х лет. Во второй, раствор после кислотного выщелачивания пробы делится на две части в отношении 1:3. Меньшая часть проходит стандартную процедуру пробоподготовки для альфа – спектрометрического анализа, большая для жидко - сцинтилляционной бета – спектрометрии (соосаждение изотопов плутония с гидроксидом железа и оксалатам кальция, жидкостная экстракция).

Таким образом, опуская особенности радиохимии, можно заключить, что существует два метода определения <sup>241</sup>Ри в пробах окружающей среды:

- 1. Определение активности <sup>241</sup>Ри по приращению активности <sup>241</sup>Ат в области регистрации <sup>238</sup>Ри.
- 2. Жидко-сцинтилляционное бета-спектрометрическое определение <sup>241</sup>Pu.

# Общее описание предлагаемой методики определения <sup>241</sup>Ри

Для успешного применения жидко-сцинтилляционного метода анализа необходимо очистить изотопы Ри от других бета-излучающих радионуклидов присутствующих в пробе. Эта процедура хорошо известна, но учитывая многовалентность Ри проведение ее невозможно без применения трассера. Так же, при использовании метода жидкостной сцинтилляции необходимо учитывать поправку на «гашение» образца, а это возможно с применением стандартного раствора<sup>241</sup>Pu.

В нашем случае предлагается использовать в качестве трассера те изотопы плутония, которые уже находятся в пробе. Метод основывается на проведении жидко-сцинтилляционного бета – спектрометрического анализа пробы с известной активностью альфа-распадающихся изотопов плутония - <sup>239+240</sup>Pu и <sup>238</sup>Pu. Активность <sup>239+240</sup>Pu и <sup>238</sup>Pu определяется стандартным альфа-спектрометрическим методом. Такая схема анализа предполагает тщательную гомогенизацию пробы и применима только для проб с содержанием суммы <sup>239+240</sup>Pu и <sup>238</sup>Pu не менее 0,2 Бк на образец. Для очистки бета-спектрометрического образца от возможного трития, после стандартной процедуры радиохимической очистки, образец упаривается досуха и плотно закрывается для предотвращения контакта с окружающим воздухом.

По полученным жидко-сцинтилляционным бетаспектрам определяется скорость счета в области <sup>241</sup>Pu и общая альфа активность образца-активность <sup>239+240+238</sup>Pu (жидко-сцинтилляционный метод имеет 100% эффективность регистрации альфа-частиц). Отношение активностей альфа – излучателей полученных на жидко-сцинтилляционном бета-спектрометре к известным активностям <sup>239+240</sup>Pu и <sup>238</sup>Pu выступает как химический выход. Область регистрации <sup>241</sup>Pu на жидкосцинтилляционном бета-спектрометре была выбрана от 0 до 15 кэВ. В виду близких энергий бетачастиц (<sup>241</sup>Pu – 20,08 кэВ, <sup>3</sup>H – 18,6 кэВ) эффективность их регистрации методом жидкостной сцинтилляции отличается не значительно. Поэтому для контроля качества измерений и для учета эффекта «гашения» при определении <sup>241</sup>Pu можно воспользоваться заранее снятой кривой гашения для трития.

# БЕТА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

На рисунке 1 представлен типичный амплитудный спектр жидко-сцинтилляционного раствора содержащего изотопы Pu.

На спектре выделяются три области: область А – область регистрации <sup>241</sup>Pu (0  $\div$  15 кэВ), область контроля чистоты образца С (20,0 – 30,0 кэВ) и область регистрации общего альфа-счета В (20,0 – 2000,0 кэВ).



Рисунок 1. Амплитудный спектр идкосцинтилляционного раствора содержащего изотопы плутония

Пик полного поглощения в области В включает в себя <sup>239+240</sup>Pu, <sup>238</sup>Pu и подложку фона. Для определения фонов в областях А, В и С, проводятся измерения фонового образца – сцинтиллятор UltimaGold в указанных областях регистрации.

При расчете активности <sup>241</sup>Pu в пробе вещества необходимо учесть эффект гашения. Ввиду близости энергий бета-излучения <sup>241</sup>Pu и <sup>3</sup>H, при калибровке спектрометра по эффективности регистрации использовались растворы с известным содержанием трития. Для этого в девять стандартных виалок с 19 мл жидкого сцинтиллятора UltimaGold добавлялось по 1мл раствора трития известной активности. Для гашения сцинтилляций дополнительно вносился хлорид железа. Содержание хлорида железа по девяти растворам было распределено по возрастающей. Для контроля фона в окне регистрации использовалась одна виалка с чистым сцинтиллятором.

При измерении полученных образцов фиксировалась скорость счета в выбранном окне регистрации и трансформированный спектральный индекс образца, для определения величины гашения образце. Зная активность трития, содержащегося в образце, рассчитывали эффективность регистрации для образцов с различным гашением. Трансформированный спектральный индекс образца рассчитывается автоматически при облучении пробы мягким рентгеновским излучением от источника <sup>133</sup>Ва, прилагающегося к бетаспектрометру. Конечным результатом калибровки по эффективности является построение кривой гашения – зависимости эффективности регистрации от спектрального индекса образца – рисунок 2.



Рисунок 2. Кривая гашения образца для <sup>3</sup>Н

Полученная кривая зависимости эффективности регистрации от величины гашения образца, которая хорошо апроксимируется полиномом второй степени и в нашем случае имеет вид:  $\varepsilon = 0.02688 + 0.00117 \times t^{-5}.9 \times 10^{-7} \times t^{2}$ . В качестве функции выступает эффективность регистрации, в качестве аргумента – трансформированный спектральный индекс внешнего стандарта (tSIE). Тогда абсолютная активность <sup>241</sup>Ри в образце имеет следующий вид:

$$A(Pu^{241}) = \frac{(N_A - N_{A,F}) \times A(Pu^{238 + 239 + 240})}{\varepsilon \times (N_C - N_{C,F})}$$

Далее зная массу навески несложно посчитать удельную активность <sup>241</sup>Ри в пробе.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕШАЮЩИХ ФАКТОРОВ

Определение влияния реактивов, используемых при проведении радиохимической очистки образца, на фоновую скорость счета. Для выявления влияния реактивов, используемых при проведении радиохимической очистки образца и могущих попасть в счетный образец, на фоновую скорость счета было подготовлено 3 счетных образца:

- 1. 20 мл сцинтиллятора UltimaGold
- 2. 1 мл 1М HCl + 19 мл сцинтиллятора UltimaGold
- 3. 0,5 г DOWEX + 20 мл сцинтиллятора UltimaGold

Измерения проводились на жидко-сцинтилляционном бета-спектрометре TRI-CARB 2900 в течении 2 часов. Скорость счета регистрировалась в областях 0-15, 20-30, 20-2000 кэВ. Измерения были повторены через 24 часа. Результаты проведенных измерений представлены в таблице 1.

Сорид измороний	No ofinanua	Скорость счета, имп/мин			
Серия измерении	№ ООразца	0 - 15 кэВ	20 - 30 кэВ	20 - 2000 кэВ	
	1	14	4	37	
1	2	15	4	36	
	3	15	4	38	
	1	15	4	37	
2	2	14	4	37	
	3	15	4	36	

Таблица 1. Результаты измерения счетных образцов содержащих различные реактивы

Таким образом, можно сделать вывод, что реактивы и используемые при проведении радиохимической очистки образца и возможно попадающие в счетный образец влияния на фоновую скорость счета не оказывают.

Контроль примеси мешающих бета-распадчиков. Т.к. максимальная энергия бета-частиц других радионуклидов возможно присутствующих в образце, как минимум в два раза больше максимальной энергии бета-частиц  $^{241}$ Pu (у  $^{228}$ Ra из ряда  $^{232}$ Th максимальная энергия 43,7 кэВ, таблица 2), то контроль чистоты образца, от других бета-излучающих радионуклидов, проводился методом регистрации скорости счета в области от 20 до 30 кэВ и сравнением ее со скоростью счета, в этой же области, при измерении чистого сцинтиллятора. При превышении скорости счета в этой области, над уровнем флуктуаций фона более чем на 10% образец отдавался на переделку.

Таблица 2. Бета-излучающие радионуклиды наиболее вероятно присутствующие в пробе почвы и их максимальная энергия бета-частиц

Нуклид	Max E <sub>β</sub> , MэB	Нуклид	Max E <sub>β</sub> , МэВ
<sup>3</sup> H	0.0186	<sup>214</sup> Bi	3.272
<sup>241</sup> Pu	0.0208	<sup>210</sup> Pb	0.063
<sup>99</sup> Tc	0.293	<sup>210</sup> Bi	1.170
<sup>90</sup> Sr	0.535	<sup>231</sup> Th	0.305
<sup>137</sup> Cs	1.170	<sup>227</sup> Ac	0.046
<sup>151</sup> Sm	0.076	<sup>211</sup> Pb	1.372
<sup>60</sup> Co	0.318	<sup>207</sup> TI	1.423
<sup>152</sup> Eu	1.474	<sup>228</sup> Ra	0.039
<sup>154</sup> Eu	1.843	<sup>228</sup> Ac	2.069
<sup>234</sup> Th	0.199	<sup>212</sup> Pb	0.573
<sup>234m</sup> Pa	1.205	<sup>212</sup> Bi	2.254
<sup>214</sup> Pb	1.024	<sup>40</sup> K	1.311

Контроль примеси мешающих альфа-распадчиков. Т.к. метод жидкостной-сцинтилляции не дает возможности спектрометрически отделить один альфа-распадчик от другого, то для контроля примеси мешающих альфа-распадчиков, из полученного после радиохимической очистки раствора, перед его упариванием, бралась аликвота объемом 1 мл и из нее методом эликтролиза готовили альфа-спектрометрический источник, который затем измеряли на альфа-спектрометре. Из измеренного альфа спектра вычитался собственный фон альфа-камеры, затем на спектре регистрировались площади пиков в окнах регистрации <sup>239+240</sup>Pu, <sup>238</sup>Pu и интегральный счет во всем диапазоне регистрации. Если интегральный счет превышал сумму площадей пиков <sup>239+240</sup>Pu и <sup>238</sup>Pu на 10% то проба отдавалась на переделку.

# Метрологические характеристики методики определения <sup>241</sup>Pu

Оценка метрологических характеристик методики включает в себя расчет воспроизводимости параллельных образцов, предела обнаружения <sup>241</sup>Pu, и неопределенности спектрометрических измерений.

Для расчета воспроизводимости измерений, были отобраны три образца с известной активностью <sup>239+240</sup>Pu и <sup>238</sup>Pu, представляющих собой три диапазона удельной активности <sup>241</sup>Pu: до 100 Бк/кг, 100 – 1000 Бк/кг, более 1000 Бк/кг. Пробы распараллеливались на пять образцов, каждый из которых проходил радиохимическую подготовку для измерений на жидко – сцинтилляционном бета – спектрометре Tri – Carb.

На основе результатов жидко – сцинтилляционного бета – спектрометрического анализов, были произведены расчеты значений удельной активности для каждой серии параллельных образцов, среднее значение удельной активности, СКО удельной активности, и относительное значение СКО. Время измерения каждого образца составило 2 часа. Полученные значения представлены в таблице 3.

Номер пробы	Активность, Бк/кг	Среднее, Бк/кг	СКО, Бк/кг	Относи- тельное значение,%
	-			
	55			
Nº 1	64	52	11	21
	51			
	37			
	420		91	19
	535			
Nº 2	598	479		
	480			
	366			
	8059			
	7812			
Nº 3	7238	7595	332	4,4
	7411	1		
	7456			

Таблица 3. Результаты проверки воспроизводимости методики определения <sup>241</sup>Ри

Для определения предела определения методики были проведены трехкратные измерения фона в области регистрации <sup>241</sup>Pu (0-15 кэВ) в течении 2 часов, его усредненное значение составило 14,7 имп/мин. Предел определения <sup>241</sup>Pu разработанной методики по критерию 3δ составил 20 Бк/кг.

Расчет неопределенности спектрометрических измерений велся на основе результатов спектрометрических измерений параллельных образцов. Математическая процедура расчета осуществлялась согласно "Руководства по выражению неопределенности измерений". Следует отметить, что неопределенности пробоотбора на данном этапе не рассматриваются. Значения усредненной относительной неопределенности спектрометрических измерений при доверительной вероятности представляются ниже:

- до 100 Бк/кг более 50%;
- 100 1000 Бк / кг 20 %;
- 1000 10000 Бк / кг –15%;

Высокая неопределенность измерений самого низкого диапазона активности, возможно, объясняется близостью данного значения активности – 52 Бк/кг к пределу обнаружения.

# Экспериментальная часть

Отбор проб. Для исследований были отобраны поверхностные пробы почв (слой 0-5 см) с наиболее типичных испытательных площадок бывшего СИП:

- места проведения испытаний в штольнях горного массива Дегелен;
- место проведения экскавационного взрыва (Атомное озеро);
- Опытное поле и территория в зоне его влияния;
- площадки испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ);

Всего было отобрано для исследований 18 проб. Места отбора проб приведены в таблице 4.

Предварительная подготовка проб и процедура анализа. Отобранные пробы весом 0.8 - 1.2 кг были просушены до воздушно-сухого веса, из них была выделена фракция < 2 мм, из которой квартованием отбирался образец весом 600 г. Образец истирался на дисковой мельнице «Pulverisette 9» фирмы «Fritcsh», в течение 20 минут. Затем из каждой пробы готовилось по три параллельных образца массой ~ 200 г для определения <sup>241</sup>Am. В случае если сходимость результатов по параллельным образцам была хуже 10% образцы объединялись и проводилась дополнительная гомогенизация истиранием (за исключением тех случаев, когда концентрация 241Ат приближалась к пределу обнаружения). После определения образцы объединялись, квартованием отбиралась навеска 100 - 150 г, дополнительно истиралась на мельнице в течение 20 минут, из которой квартованием отбиралось по два образца массой 10 г для дальнейшего определения <sup>239+240</sup>Pu, <sup>238</sup>Pu и <sup>241</sup>Pu. *Определение концентрации* <sup>241</sup>Am. Измерения

Определение концентрации <sup>241</sup>Ат.</sup> Измерения проводились инструментальным гамма-спектрометрическим методом с использованием планарного германиевого детектора ВЕ 2020 фирмы «Canberra» с углеродокомпозитным входным окном, энергетическое разрешение по линии 122,0 кэВ - 650 эВ. Время измерения, для сведения к минимуму статистической погрешности, варьировалось в зависимости от активности образцов от 3 часов до 3 суток. Правильность определения <sup>241</sup>Am контролировалась периодическими измерениями стандартов МАГАТЭ (IAEA-134, IAEA-135). Сравнение получаемых результатов с сертифицированными значениями концентрации показало отсутствие систематической ошибки используемой аналитической методики. Так же правильность результатов анализа подтверждается межлабораторным сравнением проведенным в 2009 г. международной организацией ALMERA. Результаты международного межлабораторного сравнения приведены в таблице 5. Полученный сертификат приведен в приложении.

кат приведен в приложении. *Определение*<sup>239+240</sup>*Pu и*<sup>238</sup>*Pu*. В отобранные 10 г навески добавлялся трассер<sup>242</sup>Pu, она озолялись при температуре 450 – 500°С, затем проводилось полное кислотное разложение. Выделение изотопов Pu проводилось методом колоночной экстракционой хроматографией, с применением в качестве экстрагента триоктиломина, с последующим элюированием и получением альфа-спектрометрического источника путем электроосаждения на подложку из нержавеющей стали.

Измерение активности <sup>239+240</sup>Ри и <sup>238</sup>Ри проводилось на альфа-спектрометре «AlphaAnalist» фирмы «Canberra». Правильность определения <sup>239+240</sup>Ри и <sup>238</sup>Ри контролировалась периодическим анализом стандартов МАГАТЕ (IAEA-Soil-6, IAEA - 135). Сравнение получаемых результатов с сертифицированными значениями концентрации показало отсутствие систематической ошибки используемой аналитической методики.

Определение <sup>241</sup> Ри. Отобранные 10 г навески озолялись при температуре 450 – 500°С, затем проводилось полное кислотное разложение. Выделение изотопов Ри проводилось методом колоночной экстракционой хроматографией, с применением в качестве экстрагента DOWEX, с последующим элюированием, элюат упаривался досуха в виалке. Далее в виалку добалялось 20 мл сцинтиллятора UltimaGold.

Таблица 4. Места отбора проб для исследований с указанием количества отобранных проб и предполагаемым типом загрязнения

№ п/п	Кол-во проб, шт	Место отбора	Тип загрязнения
1	8	Площадка «Опытное поле» и территория в зоне ее влияния	Радиоактивное загрязнение в результате проведения наземных и воздушных взрывов, гидроядерных испытаний, в результате выпадения радиоактивных веществ при прохождении радиоактивного облака
2	3	Площадки БРВ	Радиоактивное загрязнение в результате проведения испытаний боевых радио- активных веществ
3	2	Штольня 177	Радиоактивное загрязнение в результате выноса радионуклидов с водой, выте-
4	2	Штольня 143	кающей из штолен
5	3	Атомное озеро	Радиоактивное загрязнение в результате проведения термоядерного взрыва

Таблица 5. Результаты международного межлабораторного сравнения

№ образца	Активность Ат-241 измеренная, Бк/кг	Активность Am-241 аттестованная, Бк/кг	Расхождение, %
#1	48.9±1.0	51.900±0.620	-5.78
#2	1.6±0.3	1.579±0.060	1.35
#3	50.2±1.0	51.900±0.620	-3.28

Измерения проводились на жидко-сцинтилляционном бета-спектрометре TRI-CARB 2900 фирмы Hewlett Packard. Для регистрации <sup>241</sup>Pu была выбрана область от 0 до 15 кэВ. Область для регистрации общего альфа счета была выбрана от 20 до 2000 кэВ. Время измерения составило 2 часа. Проверку правильности измерений проводили измерением стандарта трития NIST SRM 4926E в тех же условиях. Сравнение получаемых результатов с сертифицированными значениями концентрации показало отсутствие систематической ошибки используемой методики измерений.

# Результаты и обсуждение

В таблицах 6-9 представлены результаты определения  $^{241}$ Ри и  $^{241}$ Ат и их соотношение.

	11 1	,	
Образец	<sup>241</sup> Am, Бк/кг	<sup>241</sup> Ри, Бк/кг	<sup>241</sup> Pu/ <sup>241</sup> Am на сегодняшний момент
ОП-01	480 ± 40	1680±330	3.5±1.0
ОП-07	124 ± 12	197±40	1.6±0.5
0П-08	4730 ± 420	9120±1825	2.0±0.5
ОП-09	107 ± 8	542±110	5.0±1.5
ОП-10	44,4 ± 4,1	171±34	3.9±1.0
ОП-11	710 ± 140	920±184	1.3±0.3
ОП-12	61,1 ± 4,7	178±35	3.0±0.7
ОП-13	570 ± 40	1400±280	2.5±0.6
ОП-14	315 ± 28	617±123	2.0±0.5

Таблица 6. Результаты определения <sup>241</sup>Ри и <sup>241</sup>Ат и их соотношение в пробах отобранных на площадке «Опытное поле» и на территории находяшейся в зоне ее влияния

«Опытное поле» и зона его влияния. Непосредственно на испытательных площадках в 90 % случаев отношение <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am лежит в достаточно узком диапазоне от 1,3 до 3,9 при среднем значении 2,4.

Испытания на площадке «Опытное поле» проводились в период с 29 августа 1949 по 24 января 1962 г. При условии, что активность <sup>241</sup>Am в веществе заряда в момент испытания минимальна (для дальнейших расчетов принята за ноль), с учетом закона радиоактивного распада, диапазон теоретически рассчитанных отношений <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am на сегодняшний день варьирует от 2,4 до 4,7.

Штольни горного массива «Дегелен». Диапазон полученных отношений <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am для каждой из двух отдельно взятой штольни лежит в достаточно узком интервале.

Дата проведения испытания в 177 штольне 30 марта 1983 г., теоретически рассчитанное отношение  $^{241}$ Pu/ $^{241}$ Am на сегодняшний день равно 16,2 при полученном среднем 18,8 ± 4,7.

Дата проведения испытания в 143 штольне 30 октября 1976 г., теоретически рассчитанное отношение  $^{241}$ Pu/ $^{241}$ Am на сегодняшний день равно 10,5 при полученном среднем 3,8 ± 1,0.



Рисунок 3. Точки отбора проб и полученные соотношения на площадке «Опытное поле» и на территории находящейся в зоне ее влияния

Таблица 7. Результаты определения <sup>241</sup>Pu и <sup>241</sup>Am и их соотношение в пробах отобранных на участках СИП загрязненых в результате выноса радионуклидов с водой, вытекающей из штолен

Образец	<sup>241</sup> Am, Бк/кг	<sup>241</sup> Pu, Бк/кг	<sup>241</sup> Pu/ <sup>241</sup> Am
Шт-177/1	940 ± 65	17570 ± 3515	18.7 ± 4.7
Шт-177/2	810 ± 60	15335 ± 3070	18.9 ± 4.7
Шт-143/1	410 ± 36	2066 ± 413	5.0 ± 1.3
Шт-143/2	746 ± 65	1920 ± 385	$2.6 \pm 0.6$

Такое различие между результатами анализа и теоретическим расчетом для 143 штольни вполне объясняется следующим рядом фактов:

- цель проведения испытания в штольне 177 «Создание или совершенствование ядерного оружия (СЯО)»
- цель проведения испытания в штольне 143 «Исследование поражающих факторов ЯВ и их воздействие на военные и гражданские объекты (ИПФ)»

Отсюда можно с большой долей уверенности предположить, что для испытания в штольне 177 использовался недавно созданный-«свежий» заряд, а для проведения испытания в штольне 143 использовался серийный-«проверенный», относительно давно изготовленный. Обратный теоретический расчет показал, что возможное время создания заряда – 1958-1959 г.г. – т.е. заряд пролежал на хранении около 18 лет. Это вполне удовлетворяет срокам хранения ядерного заряда, по некоторым данным он составляет около 30 лет [10].

Таблица 8. Результаты определения <sup>241</sup>Ри и <sup>241</sup>Ат и их соотношение в пробах отобранных на участках СИП загрязненых в результате проведения эскавационного взрыва

Образец	<sup>241</sup> Am, Бк/кг	<sup>241</sup> Pu, Бк/кг	<sup>241</sup> Pu/ <sup>241</sup> Am
AO-01	344 ± 28	1430 ± 286	4.2 ± 1.0
AO-02	1090 ± 83	3094 ± 619	2.8 ± 0.7
AO-03	533 ± 48	2164 ± 433	4.1 ± 1.0

*«Атомное озеро».* Очень узкий диапазон зарегистрированных отношений  $^{241}$ Pu/ $^{241}$ Am варьирует от 2,8 до 4,2 при среднем 3,7.

Дата проведения испытания 15 января 1965 г., теоретически рассчитанное отношение  $^{241}$ Pu/ $^{241}$ Am на сегодняшний день равно 5,3 при полученном среднем 3,7 ± 1.0.

Цель проведения испытания – «Промышленные ядерные взрывы в мирных целях и отработка технологии проведения МЯВ (ПВ)». Опять таки, логично предположить, что для проведения испытания использовался серийный заряд. Расчетное время создания заряда – 1958-1959 г.г. – т.е. заряд пролежал на хранении около 7 лет.

Таблица 9. Результаты определения <sup>241</sup> Ри и <sup>241</sup> Ат и их соотношение в пробах отобранных на участках СИП загрязненых в результате проведения испытаний боевых радиоактивных веществ

Образец	<sup>241</sup> Ат, Бк/кг	<sup>241</sup> Pu, Бк/кг	<sup>241</sup> Pu/ <sup>241</sup> Am
БРВ-01	$20 \pm 1,6$	29.8±6.0	1.5±0.4
БРВ-02	$26 \pm 1,8$	45.2±9.0	1.7 ±0.4
БРВ-03	$690 \pm 57$	448±90	0.6±0.2

*Площадка «БРВ»*. Очень узкий диапазон зарегистрированных отношений  $^{241}$ Pu/ $^{241}$ Am варьирует от 0,6 до 1,5 при среднем 1,3.

Испытания на площадке «БРВ» проводились в период с 1953 по 1957 г., диапазон теоретически рассчитанных отношений <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am на сегодняшний день варьирует от 2,4 до 4,7. Однако в данном случае тяжело теоретически рассчитать отношения <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am т.к. загрязнение данной территории произошло за счет распыления смесей боевых радиоактивных веществ, изготовленных из отработанного реакторного топлива после радиохимического выделения изотопов плутония, следовательно, содержащих в себе значительное количество <sup>241</sup>Am который накапливался в реакторе. Данный факт приводит к значительному завышению теоретически рассчитанного диапазона отношений.

# Выводы

В большинстве случаев на локальных площадках отношение <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am лежит в достаточно узком интервале, что делает возможным проведения оценки активности <sup>241</sup>Pu по результатам гамма-спектрометрического анализа <sup>241</sup>Am. Точность оценки активности <sup>241</sup>Pu таким методом будет составлять около 50 %, что в большинстве случаев вполне достаточно.

# Литература

- 1. МИ 06-7-98. Методика определения изотопов плутония-(239+240), стронция-90, америция-241 в объектах окружающей среды; Алматы, 1998
- 2. Full Range MGA Plutonium Isotopic Analysis Using Single Ge Detector. W.M.Buckley, T.F.Wang, A.Friensehner and other. PerkinElmer technical documents
- 3. Ломоносов, И. И. Измерение трития / И. И. Ломоносов, Л. Д. Сошин М.: Атомиздат, 1968.- с. 106.
- Интернет-материал: http://209.85.229.132/search?q=cache:PAGix9tYYm0J:orise.orau.gov/ieav/survey-projects/pubs/labmanual/ap10.pdf+%D0%BF%D0%BB%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B9-241&cd=229&hl=ru&ct=clnk&gl=ru
- 5. Интернет-материал: http://www.radiochemistry. umcs.lublin.pl/home/1999/AK\_bw.htm
- 6. Интернет-материал: http://www.springerlink.com/ content/p6g0uqt17r1m3332/
- 7. Степанов, А. В. Прецизионное определение плутония методами спектрофотомерии с внутренней стандартизацией и абсолютного альфа счета с жидким сцинтиллятором / А.В. Степанов, С.А. Никитина,
- В.Т. Карасев // Труды Радиевого института имени В.Г.Хлопина. 2003. Т. 10. С. 50 58.
- 8. Лощилов, Н. А. Ядерно физические характеристики горячих частиц образовавшихся в результате аварии на ЧАЭС /
- Н.А. Лощилов, В.А. Кашпаров, В.Д Поляков // Радиохимия. 1992. №2. С. 113 125
- 9. Интернет-материал: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1580376
- 10. Интернет-материал: http://gorod.tomsk.ru/index-1223908212.php

# ССП НЕГІЗГІ СЫНАҚ АЛАҢДАРЫНЫҢ ТОПЫРАҒЫНДАҒЫ <sup>241</sup>Ри ЖӘНЕ <sup>241</sup>Ат БЕЛСЕНДІЛІГІНІҢ ҚАТЫНАСЫН ЗЕРТТЕУ

#### Каширский В.В., Лукашенко С.Н., Коровина О.Ю., Шатров А.Н.

#### ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Бұл мақалада топырақтағы <sup>241</sup>Pu анықтау әдістемесі суреттеледі, ССП негізгі сынақ алаңдарынан алынған топырақ сынамаларындағы <sup>241</sup>Pu және <sup>241</sup>Am белсенділіктері келтірілді, ССП негізгі сынақ алаңдарының топырағындағы <sup>241</sup>Pu/ <sup>241</sup>Am қатынасы есептелді, «Тәжірибе даласы» алаңындағы топырақтағы <sup>241</sup>Pu/ <sup>241</sup>Am мүмкін деген қатынастарының теориялық есебі келтірілді. <sup>241</sup>Am гамма-спектрометриялық талдамасының нәтижесі бойынша <sup>241</sup>Pu белсенділігін бағалау жасау мүмкіндігі көрсетілді.

# INVESTIGATION OF ACTIVITY RATIO OF <sup>241</sup>Pu AND <sup>241</sup>Am IN SOIL OF MAJOR TESTING GROUNDS AT STS

# V.V. Kashirsky, S.N. Lukashenko, O.Yu. Korovina, A.N. Shatrov

# Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This paper describes a method for determination of <sup>241</sup>Pu in the soil, gives the activity of <sup>241</sup>Pu and <sup>241</sup>Am in soil samples selected at the main testing grounds of STS, <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am ratios in the soil at main testing grounds of STS have been calculated, there has been made a theoretical calculation of the possible ratio of <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am in soil at "Experimental field" site. Also the article shows the possibility to assess the activity of <sup>241</sup>Pu by a result of gamma-spectrometric analysis of <sup>241</sup>Am.

# ИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ РЕАКЦИЙ <sup>120</sup>Sn (p,xp) И (p,xa) ПРИ $E_P = 30.0 \text{ M} \Im B$

Жолдыбаев Т.К., Дуйсебаев А.Д., Дуйсебаев Б.А., Садыков Б.М.

# Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Измерены сечения реакций (p,xp) и (p,xα) на ядре <sup>120</sup>Sn при E<sub>p</sub>=30.0 МэВ. Выполнен анализ экспериментальных результатов в рамках экситонной модели. Определен вклад многоступенчатых прямых и компаунд механизмов в формирование сечений.

Разработка фундаментальной концепции механизма предравновесного распада в ядерных реакциях, отражающая динамику образования и эволюции возбужденной системы к равновесному состоянию, является актуальной задачей теории ядерных реакций. Исследования предравновесных процессов позволяют глубже понять динамику релаксационных процессов в высоковозбужденном ядре, выявить роль различных механизмов ядерных реакций, дать информацию об остаточных силах, о структуре высоковозбужденных состояний, о роли кулоновских сил в ядре, о кластеризации и так далее. Кроме того, предравновесный распад перекрывается с физикой тяжелых ионов. И, наконец, открывающиеся в результате систематических исследований возможности априорного описания спектров эмиссии могут найти и уже находят применение в прикладных областях. Например, при конструировании ускорителей-размножителей, безопасных и безотходных гибридных ядерно-энергетических установок, при расчетах распределений первично выбитых атомов в радиационном материаловедении для конструирования реакторов-размножителей, термоядерных реакторов и космической техники.

Решение этой задачи в значительной степени связано с необходимостью получения прецизионных экспериментальных данных по дважды дифференциальным сечениям в реакциях с заряженными частицами. К настоящему времени основные интегральные характеристики предравновесного распада ядер в реакциях с нуклонами более или менее известны, однако проблемы связанные с дифференциальными характеристиками, особенно механизмами реакций формирующих сечения остаются открытыми. Особенно актуальной является задача корректного разграничения между многоступенчатыми прямыми ядерными реакциями и предравновесным распадом. Принципиально важным для экспериментального изучения предравновесного распада ядер является разработка методик, позволяющих проводить одновременное измерение полных инклюзивных спектров и непрерывных угловых распределений для всех открытых каналов.

Исследования по теме связаны с получением ядерных констант (сечений) и уточнением механизма ядерных процессов инициированных протонами для разработки новых технологий в ядерной энергетике, лучевой терапии, космической технике, а также тестирование соответствующих теоретических моделей и основанных на них вычислительных кодов.

В основу системы регистрации и идентификации продуктов реакций положен ( $\Delta E - E$ ) –метод, основанный на одновременном измерении удельных потерь энергии заряженной частицы в веществе dE/dx и ее полной кинетической энергии Е. Уравнение Бете–Блоха, из которого исходит этот метод, при определенных условиях сводится к простому соотношению:

$$\frac{dE}{dx}E \cong kMZ^2$$

где k – коэффициент, величина которого не зависит от массы M и заряда частицы Z. Из этого соотношения следует, что при одновременном измерении E и dE/dx каждый сорт частиц занимает свою гиперболу в координатном пространстве (E- $\Delta$ E). Характерный вид проекции на плоскость (E- $\Delta$ E) приведен на рисунке 1.



Рисунок 1. Двумерное ДЕ-Е распределение



*Атр.#1,2*-спектроскопический усилитель; *SCA#1,2*-одноканальный анализатор; *Coinc.#1*-схема совпадений; *Counter#1*-пересчетная схема; *ADC#1,2*-амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП)

Рисунок 2. Блок-схема электроники ДЕ-Е методики

Регистрация и идентификация продуктов реакций осуществляется системой многомерного программируемого анализа основанной на использовании ( $\Delta E$ -E) – метода, спектрометрических линеек ORTEC и ЭВМ (блок схема представлена на рисунке 2). Сигналы с детекторов поступают на зарядочувствительные предусилители, расположенные непосредственно у камеры рассеяния. Сигналы от предусилителей, через кабели длиной 50 м, подаются на усилители с активным фильтром и компенсацией полюса нулем (ORTEC 571), в которых выбросы одного противоположного знака, возникающие при дифференцировании импульсов с предусилителей, компенсируются с помощью специальной схемы. Это позволило избежать искажений спектра за счет наложений на выбросы и уменьшить мертвое время при перегрузках.

Спектрометрические сигналы квазигауссовой формы в усилителях получаются с помощью схем дифференцирования и 4-х кратного интегрирования. Такая форма сигналов является оптимальной по отношению сигнала к шуму и по разрешающему времени. Усилители имеют два выхода: прямой, использующийся для временной привязки, и, задержанный на 2.5 мкс - спектрометрический. С прямого выхода биполярные сигналы подаются на одноканальные анализаторы (POLON 1201), вырабатывающие стандартные логические сигналы с регулируемой задержкой, которые затем подаются на схему совпадений (POLON 1402) с разрешающим временем ~1 мкс. Вырабатываемые схемой совпадений логические сигналы подаются затем на управляющие входы двух АЦП (POLON 712). Наличие на управляющем входе АЦП низкого уровня служит признаком для начала преобразования в код амплитуды спектрометрического сигнала, подаваемого на аналоговый вход АЦП. По окончании преобразования, АЦП помещает полученный код в свой регистр данных и выставляет запрос на прерывание по магистрали КАМАК. Одноканальные анализаторы кроме временной привязки осуществляют еще одну функцию - они используются как амплитудные дифференциальные дискриминаторы для выбора оптимального динамического диапазона. Эффективность системы регистрации определяется динамическим сравнением числа импульсов разрешения со схемы совпадений к числу событий, зарегистрированных программой обработки прерываний.

Мониторирование качества работы измерительной системы осуществляется спектрометром CsI(Tl), расположенным под углом 30<sup>0</sup> относительно падающего пучка, по интенсивности счета частиц упруго рассеянных исследуемой мишенью. Такой способ мониторирования позволяет корректно учитывать как изменение тока пучка частиц, так и изменение эффективной толщины мишени при возможной миграции максимума интенсивности пучка по ее площади. Предварительно усиленные сигналы с фотоэлектронного умножителя ФЭУ-13 через усилители и интегральные дискриминаторы (АДД-1) подаются на пересчетные схемы. В процессе измерения проводится периодический контроль отношений числа счета мониторного канала к интегратору тока.

Измерение полного числа частиц прошедших через мишень за время экспозиции осуществляется с помощью цилиндра Фарадея, отнесенного от центра камеры рассеяния (мишени) на расстояние 118 см, ток с которого последовательно подается на интегратор тока фирмы ORTEC. Импульсы, полученные с интегратора, преобразуются в стандарт TTL одноканальным анализатором и пересчитывались счетчиком с рабочим диапазоном измерения токов 0,5 нА - 10 мкА и постоянной, составляющей величину  $(1,58 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$  мкКл/отсчет.

Эффективность всей регистрирующей системы, работающей в режиме реального времени равной единице, обеспечивается использованием быстродействующего канала обмена между ЭВМ и крейтом КАМАК с оптимальным программным обеспечением, ориентированным на регистрацию двухпараметрового события (ДЕ-Е). Программа осуществляет по прерываниям от АЦП процесс регистрации спектрометрической информации, поступающей из детекторов. Крейт КАМАК сопряжен с шиной данных ЭВМ посредством контроллера КК09. Программа обеспечивает возможность одновременного измерения двух каналов реакции, а также непрерывного контроля за процессом измерения. При этом на дисплей выводится информация о величине тока на мишени, интенсивность совпадений событий, мгновенная и интегральная эффективность измерительной системы, которые рассчитываются в фоновом режиме используя внутренний таймер компьютера и показания счетчиков. Для сортировки по типу частиц процедура обработки прерываний использует расположенную в ОЗУ матрицу масок (признаков), охватывающую пространство кодов АЦП.

Измерения экспериментальных сечений реакций инициированных протонами с энергией  $E_p=30.0$  МэВ проведены на пучке изохронного циклотрона У-150М ИЯФ НЯЦ РК с использованием мишени <sup>120</sup>Sn толщиной 3,1 мг/см<sup>2</sup> и обогащением 97 %. Измерения проводились в угловом диапазоне  $30^0-135^0$  в лабораторной системе координат с шагом  $15^0$ 

Телескопы детекторов формировались из кремниевых поверхностно-барьерных счетчиков  $\Delta E$  толщиной 50 мкм, E - 1000 мкм при исследовании реакции (р,ха), а для реакций (р,хр) из пролетного кремниевого детектора  $\Delta E$  толщиной 100 мкм и стопового детектора полного поглощения E из кристалла CsI(Tl) толщиной 25 мм. Телесные углы телескопов составляли  $\Omega = 5,34 \cdot 10^{-5}$  ср. и  $\Omega = 4,62 \cdot 10^{-5}$  ср., соответственно. Энергетическая калибровка спектрометров проводилась по кинематике состояний остаточных ядер в реакции  $^{12}C(p,x)$ , и протонов отдачи. Полное энергетическое разрешение спектрометров составляло 400 кэВ для (Si-Si)-телескопа и 800 кэВ для (Si-CsI(Tl))-телескопа.

Систематические ошибки сечений обусловлены, главным образом, погрешностями в определении: толщины мишени, калибровки интегратора тока и телесного угла спектрометра и не превышали 15 %. Энергия пучка ускоренных протонов измерялась с точностью 1 %. Угол регистрации фиксировался с точностью 0,5<sup>0</sup>.

На рисунках 3, 4 представлены дважды-дифференциальные и интегральные спектры реакций (p,xp) и (p,xa). Определенные из них парциальные сечения реакций приведены в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные парциальные сечения реакций (р,хα), (р,хр) на ядре <sup>120</sup>Sn

<sup>120</sup> Sn	Энергетический диапазон, МэВ	σ, (мбн)
(p,xα)	9-26	11.5 ± 0.1
(p,xp)	4-31	448,9 ± 6,8

Полученные экспериментальные данные были проанализированы в рамках экситонной теории. Экситонная модель широко используется при интерпретации многих экспериментальных результатов. Одним из достоинств модели является то, что кинетические уравнения, на которых она основана, описывают весь процесс релаксации возбужденной ядерной системы, начиная от простейших квазичастичных конфигураций и заканчивая установлением статистического равновесия. Это, в частности, позволяет по-новому взглянуть на ставший уже традиционным механизм испускания частиц из составного ядра. Разработанные быстрые методы решения кинетических уравнений открыли возможность изучения многочастичной эмиссии частиц. Модель описывает одновременно энергетические спектры не только нуклонов, но и сложных частиц, а современные ее версии включают также описание и угловых распределений. Дальнейшее развитие модели, проверка основных ее положений, требует получения систематических экспериментальных данных по энергетическим и угловым распределениям для разных входных и выходных каналов реакций.



Точки – эксперимент. 1 – одноступенчатый процесс выбивания нуклона. 2 – одноступенчатый процесс передачи нуклона. 3 – предравновесный процесс. 4 – равновесный процесс. 5 – полное сечение

Рисунок 3. Интегральные сечения реакций (p,xp) и (p,xa) на ядре <sup>120</sup>Sn

По своей сути экситонная модель Гриффина является статистическим подходом. Возбужденные состояния промежуточной системы описываются в терминах одночастичной модели оболочек, т.е. характеризуются числом возбужденных частиц p (выше уровня Ферми) и дырок h (ниже уровня Ферми). Сумма n=p+h называется экситонным числом.



Точки – эксперимент, сплошные линии – расчет в рамках экситонная модели Рисунок 4. Дважды-дифференциальные сечения реакций (p,xp) и (p,xa) на ядре <sup>120</sup>Sn

Предполагается, что эволюция системы происходит через последовательность усложняющихся конфигураций, причем на каждой фазе этой эволюции возможна эмиссия частиц. Остаточное взаимодействие считается двухчастичным и достаточно слабым, чтобы можно было применить теорию возмущений при вычислении вероятностей переходов. Энергия системы сохраняется. Реакция протекает по простой схеме: вошедший в область ядерного потенциала нуклон в результате первого взаимодействия с составляющей ядра образует входное 3-квазичастичное состояние типа 2p1h, причем все конфигурации этого состояния предполагаются равновероятными. Двухчастичный характер остаточного взаимодействия приводит к тому, что из состояния *n* система может непосредственно попасть лишь в состояния (n±2). Поскольку на начальной стадии реакции переход к большим значениям *n* означает сушественное расширение конфигурационного пространства, наиболее вероятными оказываются переходы с  $\Delta n = +2$ . Следовательно, возбужденная система будет преимущественно развиваться в строну состояний возрастающей сложности, последовательно проходя состояния с n=5,7,9 и т.д. С приближением к равновесию переходы с  $\Delta n=0$  и -2 приобретают все большее значение. В состоянии динамического равновесия, характеризуемого средним числом экситонов  $\overline{n}$ , все три допустимых типа переходов равновероятны, и таким образом, обе стадии процесса в рамках модели описываются одинаково.

Вероятность того, что промежуточное ядро испустит частицу с энергией в диапазоне  $\varepsilon_{e} \div \varepsilon_{e} + d\varepsilon_{e}$  за интервал времени  $t \div t + dt$  определяется выражением:

$$I_{\varepsilon}(\varepsilon_{\varepsilon},t)d\varepsilon_{\varepsilon}dt = \sum_{n=n_{0},\Delta n=2} P(n,t)\lambda_{\varepsilon}(n,\varepsilon_{\varepsilon})d\varepsilon_{\varepsilon}dt$$

Здесь суммирование ведется по всем разрешенным конфигурациям с весами, определяемыми вероятностями нахождения системы в *n* экситонном состоянии P(n, t);  $\lambda_{e}(n, \varepsilon_{e})$  – вероятность в единицу времени вылета частицы с энергией  $\varepsilon_{e}$  из *n*-экситонного состояния (скорость вылета). Для того, чтобы получить полный спектр, нужно  $I_{e}(\varepsilon_{e}, t)$  проинтегрировать по времени:

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon_{s}} = \sigma(E_{a}) \int_{0}^{\infty} I_{s}(\varepsilon_{s}, t) dt =$$
$$= \sigma(E_{a}) \sum_{n=n_{0}, \Delta n=2}^{n_{\max}} \lambda_{s}(n, \varepsilon_{s}) \int_{0}^{\infty} P(n, t) dt$$

где  $\sigma(E_a)$  – сечение поглощения налетающей частицы ядром.

Для P(n,t) можно записать уравнение, связывающее P(n,t) с P(n-2,t) и P(n+2,t). Это так называемое кинетическое или мастер-уравнение экситонной модели с учетом вылета частиц:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P(n,t)}{\partial t} &= \lambda_+ (n-2, E_a) P(n-2, t) + \\ &+ \lambda_- (n+2, E_a) P(n+2, t) - \\ &- \left[ \lambda_+ (n, E_a) + \lambda_- (n, E_a) + \sum_i W(n, E_a) \right] P(n, t) \end{aligned}$$

с начальным условием  $P(n,0) = \delta_{nn_0} = \delta_{pp_0} \delta_{hh_0}$ .

В уравнении величины  $\lambda_+$  и  $\lambda_-$  являются вероятностями внутриядерных переходов в единицу времени (скоростями переходов) с  $\Delta n=2$  и  $\Delta n=-2$ . Здесь  $\sum_{n} P(n,t) = 1$  для любых *t*, в то же время физическое

граничное условие, должно быть  $P(n, t \rightarrow \infty) = 0$ .

Это наиболее широко распространенный вариант кинетического уравнения экситонной модели. Для его решения можно применить разностные методы. Однако, если учесть, что нас в основном интересует

 $\int_{0}^{0} P(n,t) dt$ , дифференциальные уравнения можно

свести к алгебраическим, что существенно упрощает вычисления. Кроме того, можно интерпретировать ядерную релаксацию как разрывный марковский процесс: временная переменная меняется непрерывно и в некоторый момент происходит скачкообразное изменение состояния системы, причем поведение системы в будущем полностью определяется ее состоянием в настоящий момент. С этой точки зрения уравнение является уравнением Колмогорова-Чепмена для данного случайного процесса и может быть промоделировано методом Монте-Карло.

Во всех расчетах по экситонной модели Гриффина (программа PRECO-2006) в качестве исходной принималась (1p0h) частично-дырочная конфигурация. При генерации коэффициентов проницаемости использовались параметры оптического потенциала Becchetti-Greenlees для протонов и Huizenga-Igo для α-частиц.

Из сравнения экспериментальных и теоретически рассчитанных интегральных спектров следует, что основной вклад в жесткую часть полного сечения реакций (p,xp) обусловлен предравновесным механизмом. А в реакции (р,ха) в этой области спектра доминирующим является статистический одноступенчатый механизм передачи нуклона. В тоже время, вклад одноступенчатого механизма выбивания протона в реакции (р,хр) незначителен. Также видно, что испарительная (низкоэнергетическая) часть сечения недооценивается в рамках используемой версии экситонной модели. Это можно объяснить тем, что данный подход дает только предравновесную часть этого процесса без учета эмиссии из сложной равновесной конфигурации составной системы.

# Е<sub>р</sub>=30.0 МЭВ КЕЗІНДЕ <sup>120</sup>Sn ЯДРОДА (р,хр) ЖӘНЕ (р,хα) РЕАКЦИЯЛАРДЫҢ ИНКЛЮЗИВТІ ҚИМАЛАРЫ

Жолдыбаев Т.К., Дүйсебаев А.Д., Дуйсебаев Б.А., Садыков Б.М.

# ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

E<sub>p</sub>=30.0 МэВ кезінде <sup>120</sup>Sn ядрода (p,xp) және (p,xα) инклюзивті реакциялардың қималары өлшелген. Эксперименттер нәтижелерін талдау экситон моделі негізінде орындалған. Көпсатылы төте және құрама процесстердің қималар қалыптасуына қосқан үлесі анықталған.

# THE INCLUSIVE CROSS SECTIONS OF REACTIONS $^{120}$ Sn (p,xp) AND (p,xa) AT E<sub>p</sub>=30.0 MEV

# T.K. Zholdybayev, A.D. Duisebaev, B.A. Duisebaev, B.M. Sadykov

# Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

The cross sections of inclusive reactions (p,xp) and  $(p,x\alpha)$  on <sup>120</sup>Sn at  $E_p=30.0$  MeV have been measured. The analysis of experimental data was executed on basing of exiton model. The contribution in formation of cross sections of multistep direct and compound processes has been determined.

УДК 539.21:539.12.04:669.3

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ «ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИИ» В НЕОБЛУЧЁННОЙ И ОБЛУЧЁННОЙ НЕЙТРОНАМИ МЕТАСТАБИЛЬНОЙ СТАЛИ 12X18H10T

#### Рубан С.В., Максимкин О.П., Гусев М.Н., Рыбин С.В.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Проведены механические испытания необлучённых и облучённых нейтронами образцов стали 12Х18Н10Т, подвергнутых специальной термообработке для формирования различного начального комплекса механических свойств.

В результате цикла низкотемпературных (до -100°С) экспериментов на одноосное растяжение показана возможность воспроизведения «волны деформации» в специально обработанной (упрочнённой) необлученной и облучённой нейтронами стали 12Х18Н10Т. При этом варьирование температуры испытания рассматривалось как способ управления мартенситным γ→α' переходом.

Обнаружен и исследован факт увеличения пластичности материала в результате облучения. Показано, что увеличение пластичности облученных образцов связано с более оптимальной кинетикой выпадения мартенситной α' - фазы в процессе растяжения.

#### Введение

Ранее при исследовании образцов стали 12X18H10T, вырезанных из стенок чехлов тепловыделяющих сборок реактора БН - 350 нами было обнаружено новое явление для высокооблучённых материалов – «волна пластической деформации»[1]. Это явление представляет собой новый, неописанный ранее, вид деформационного поведения высокооблученных сталей. Показано, что большую роль в формировании «волны» играет мартенситное  $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращение, индуцируемое деформацией в метастабильных, нержавеющих сталях.

В настоящей работе с целью дальнейшего изучения нового физического явления выполнена попытка воспроизвести его в необлучённых и слабооблучённых образцах стали 12X18H10T с различными параметрами термообработки.

# 1. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав исследованной стали 12X18H10T представлен в таблице 1.

Исследовали плоские образцы для механических испытаний в форме двойной лопатки с размерами  $10\times3,5\times0,3$  мм. Перед облучением в ректоре BBP-К образцы подвергались аустенизирующим отжигам 900 и  $1050^{\circ}$ С в течение 30 минут. Образцы каждой термообработки были облучены до флюенсов  $3,9\times10^{18}$  и  $1,9\times10^{19}$  нейтрон/см<sup>2</sup>.

Испытания облученных и необлученных образцов на одноосное растяжение проводили на установке «Инстрон-1195», дополнительно оснащенной, разработанной нами, температурной камерой [2], позволяющей проводить растяжение в интервале температур -185..+20°С.. Скорость деформирования во всех экспериментах была неизменной и составляла  $8.3 \times 10^{-4}$ с<sup>-1</sup>.

С целью определения «истинных» характеристик прочности и пластичности, а также наблюдения «волны деформации» в исследуемой стали был применен метод «цифровой маркерной экстензометрии»[3]. Использование данного метода, включающего в себя цифровую фотосъемку образца в ходе эксперимента, позволяет отслеживать особенности протекания пластической деформации и рассчитывать зависимости «истинные напряжения – истинные деформации» для миниатюрного непрерывно деформируемого, облученного образца.

Замеры ферромагнитной α'- фазы, образовавшейся в процессе растяжения, производились с помощью феррозонда FISCHER MP-30. Оценка локального, объёмного содержания α'- фазы производилась по методу, описанному в [4]. Замеры магнитной фазы в процессе растяжения при низких температурах также выполнялись с помощью феррозонда, однако исследуемые образцы при этом извлекались из низкотемпературной камеры и отогревались до комнатной температуры. После необходимых измерений, образец снова загружался в камеру и охлаждался в течение 10 минут, затем растяжение продолжалось. С целью определения влияния подобного перепада температур на механические и магнитные свойства проводили сравнение этих характеристик в случае термоциклирования и без него. Каких - либо существенных различий замечено не было.

Таблица 1. Химический состав исследуемой стали 12Х18Н10Т вес %

Материал	Fe	Ni	Mn	С	Ti	Cr	Прочие
12X18H10T	основа	10,66	1,1	0,1	0,5	17,0	P – 0,032 Si – 0.8 S – 0.0032

# **2.** Экспериментальные результаты и их обсуждение

#### 2.1 Образцы, аустенизированные при 900°С.

На рисунке 1 представлены кривые растяжения в координатах «напряжение, МПа – остаточная деформация, мм» для необлучённых и облучённых образцов стали 12Х18Н10Т с термообработкой 900°С, 30 минут.

Проведённые механические испытания показали, что в образцах, растяжению которых соответствуют кривые 3-6, удалось воспроизвести «волну пластической деформации». Об этом косвенно свидетельствует наличие площадок текучести на соответствующих диаграммах. Из рисунка 1 также видно, что испытания облучённых образцов при низких температурах приводят к уменьшению предела текучести, при этом, чем ниже температура испытания, тем больше разница в пределах текучести необлучённой и облучённой стали (кривые 4,6).

Примером прямого наблюдения «волны деформации» является последовательность фотоснимков, сделанных в процессе растяжения необлучённого образца, деформированного при -100°С (рисунок 2).

Фотографии подвергнуты цифровой обработке с целью увеличения контрастности и чёткости. Широкие полосы на поверхности образца – красящее вещество. Тонкие тёмные полосы показывают участки образца, по которым прошла «волна». Стрелкой указано положение «волны» в момент снятия фотографии.

Анализ инженерной кривой и фотоснимков поверхности образца показал, что в момент, когда на диаграмме растяжения появляется площадка текучести, у одного из захватов формируется область локализованной деформации (образуется «волна»). По мере развития деформации «волна» перемещается к противоположному краю образца (на рисунке 2 указано стрелкой). Наблюдать пластическую деформацию по фотографиям достаточно просто: необходимо сравнить ширину и контрастность полос, нанесённых маркером на поверхность образца перед растяжением. После пластической деформации полосы красящего вещества становятся светлее, а их ширина увеличивается. Проходя рабочую часть образца, «волна» достигает противоположной головки и останавливается. В этот момент на диаграмме растяжения заканчивается площадка текучести и начинается рост нагрузки - с этого момента образец начинает деформироваться по всей длине рабочей части заново.

На рисунке 3 представлена диаграмма растяжения образца стали 12Х18Н10Т, имеющая площадку текучести, а также другие характерные этапы деформации образа.



Кривые 1,2 – температура испытания 20°С, кривые 3,4 – температура испытания -60°С, кривые 5,6 - температура испытания -100°С. Необлучённым образцам соответствуют кривые 1,3,5; кривые соответствующие облучённым нейтронами образцам до флюенса 1,9х10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup> – 2,4,6.

Рисунок 1. Диаграммы растяжения необлучённых и облучённых образцов стали 12Х18Н10Т



Рисунок 2. Последовательность фотоснимков поверхности образца сделанных в процессе деформации при -100°С



L – длина площадки текучести, V – «волна деформации»

Рисунок 3. Диаграмма растяжения образца стали 12X18H10T с характерными этапами деформации

Используя данные, полученные из диаграммы растяжения, а также зная что «волна» проходит всю рабочую часть образца в процессе деформации, можно определить среднюю скорость её движения, используя формулу:

$$V = \frac{l \circ v_{\varepsilon}}{L} \tag{1}$$

где l - длина рабочей части образца,  $v_{\varepsilon}$  - скорость деформирования (растяжения), L - длина площадки текучести.

количество образ-ся а'- фазы, %

С использованием данных по замеру ферромагнитной  $\alpha'$ -фазы, формулы (1) и метода «цифровой маркерной экстензометрии» были определены основные характеристики исследованных «волн деформации», представленные в таблице 2.

На рисунке 4 представлены кривые накопления ферромагнитной α'- фазы необлучённой стали 12X18H10T в зависимости от истинных характеристик.

Как видно из рисунка 4, отжиг 900 °C приводит к тому, что при комнатной температуре стабильность стали 12Х18Н10Т в процессе деформации значительно увеличивается – максимальное количество образовавшегося мартенсита достигает всего 15 объёмных %.

С понижением температуры испытания значение «критических» деформаций резко падают и при -60 и -100°С мартенсит начинает образовываться сразу за пределом текучести. Необходимо подчеркнуть, что в этих случаях образование мартенсита начинается при движении «волны пластической деформации». Истинные напряжения начала образования мартенсита соответствуют напряжению на площадке текучести. Апроксимирующая кривая для температуры испытания -100°С проведена условно, т.к. измерить малое количество ферромагнитной α'-фазы не удалось.

На рисунке 5 представлены зависимости выпадения мартенситной  $\alpha'$ -фазы от истинных характеристик прочности и пластичности для образцов, облучённых до флюенса 1,9х10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup>.

30

	Т <sub>испытания</sub> = -100°С		Т <sub>испытания</sub> = -60°С	
Характеристики "волны"	необлуч.	1,9x10 <sup>19</sup> нейтрон/см <sup>2</sup>	необлуч.	1,9x10 <sup>19</sup> нейтрон/см <sup>2</sup>
средняя скорость волны, мм/с	0,0275	0,115	0,075	0,1
условное напряжение течения, кг/мм <sup>2</sup>	85	70	75	68
локальная деформация после прохождения волны, %	18	12	21	15

20

15

Таблица 2. Основные характеристики «волн деформации» необлучённой и облучённой нейтронами стали 12X18H10T



Рисунок 4. Изменение содержания мартенситной α'-фазы при деформации необлучённой стали 12X18H10T с термообработкой 900 °C 30 минут с различной температурой испытания



Рисунок 5. Изменение содержания мартенситной фазы при деформации стали 12X18H10T облучённой нейтронами до флюенса 1,9x10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup> и испытанной при различной температуре

Из рисунка видно, что облучение нейтронами приводит к более плавному (постепенному) выпадению мартенситной фазы по шкале деформации, т.е. для одинакового количества фазы в случае облучения требуется создать большие деформации, при этом максимальное объёмное количество больше, чем в необлучённых образцах. Так, для температур испытания -60 и -100°С количество мартенсита на 15 % больше, чем в необлучённых образцах. Кроме того, более плавная кинетика выпадения  $\alpha'$ -фазы, по-видимому, объясняет отсутствие «зуба текучести» на диаграммах растяжения (кривые 3-6 рисунок 1), а также колебания нагрузки на площадке текучести.

### 2.2 Образцы астенизированные при 1050°С.

В работе [5] показано, что снижением температуры испытания указанное явление «волны» в необлучённой стали с аустенизирующимм отжигом в 1050°С не может быть воспроизведено. Поэтому была выполнена попытка стимулировать «волну» не только понижением температуры, но и нейтронным облучением.

На рисунке 6 приведены кривые растяжения в координатах «напряжение, МПа – остаточная деформация, мм» для необлучённых и облучённых образцов стали 12Х18Н10Т с термообработкой 1050°С, 30 минут.

Из рисунка видно, что при температуре испытания 20°С наблюдается классическая картина деформирования облучённой нейтронами стали (см. кривые 1,2). Так, для флюенса 1,9х19<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup> происходит увеличение предела текучести с 230 МПа до 430 МПа, при этом пластичность облучённого образца значительно снижается - наблюдается радиационное охрупчивание.

Как было показано ранее, основным признаком того, что по образцу в процессе растяжения перемещается «волна пластической деформации» является наличие на диаграмме растяжения площадки текучести. На представленных диаграммах на рисунке 5 площадка текучести отсутствует. Таким образом, снижая температуру испытания воспроизвести «волну» в слабооблучённых образцах этой термообработки не удалось.

Однако, испытания слабооблучённых образцов при -60°С показывают аномально высокое значение пластичности (кривые 3-5), тем большее, чем выше флюенс нейтронов, а кривые деформации (особенно 5) имеют более плавный вид. По-видимому, облучение до флюенса  $1,9x10^{19}$  н/см<sup>2</sup> несколько недостаточно для активации «волны». Дальнейшее понижение температуры испытания (до -100°С) приводит снижению пластичности облучённой стали (кривые 6,7).



Кривые 1,2 – температура испытания 20°С, кривые 3 - 5 – температура испытания -60°С, кривые 6,7- температура испытания -100°С. Необлучённым образцам соответствуют кривые 1,3,7; кривые, соответствующие облучённым нейтронами образцам до флюенсов: 4 – 3,9x10<sup>18</sup> н/см<sup>2</sup>, 2,5,6 – 1,9x10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup>.

Рисунок 6. Диаграммы растяжения необлучённых и облучённых образцов стали 12Х18Н10Т

На рисунке 7 и 8 показаны зависимости количества ферромагнитной  $\alpha'$ - фазы от приложенных «истинных» напряжений и «истинных» деформаций. Аппроксимирующие кривые были получены по экспериментальным данным.

Из рисунка 7 видно, что с понижением температуры увеличивается объёмное содержание ферромагнитной  $\alpha'$ - фазы, которая в свою очередь и упрочняет сталь. Таким образом понятно, почему на инженерных кривых 3,7 (рисунок 6) наблюдается общее увеличение прочности и уменьшение пластичности образцов – мартенситное  $\gamma \rightarrow \alpha'$  превращение начинается раньше (по шкале деформации) и протекает более интенсивно чем при 20°С. Необходимо подчеркнуть также, что при уменьшении «критических» деформаций начала образования мартенситной  $\alpha'$ -фазы несколько увеличиваются «критиче ские» напряжения.

Однако, на интенсивность мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha'$  превращения (т.е. на наклон кривых, описывающих зависимость объёмного содержания  $\alpha'$ -фазы от «истинной» деформации) способна влиять не только температура испытания. Нейтронное облучение приводит к появлению в объёме материала дефектов кристаллической решётки. Дефекты, в свою



очередь, создают внутренние напряжения и «препятствия» деформации, которые в зависимости от температуры испытания способны не только влиять на деформации и напряжения начала выпадения мартенситной фазы, но и на всю кинетику  $\gamma \rightarrow \alpha'$  перехода в целом.

На рисунке 8 представлены зависимости образования α'- фазы от истинных характеристик прочности и пластичности в облучённых до флюенса 1,9x10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup> образцах стали. Сравнивая кривые для облучённых и необлучённых образцов, изображённых на рисунке 2, можно увидеть, что облучение приводит к несколько большему выпадению мартенсита при 20°С, что согласуется с данными полученными ранее [4]. С понижением температуры до -60°С для протекания мартенситного γ→α' превращения создаются более оптимальные условия: фазы выпадает больше, чем в необлучённом образце при тех же значениях деформации. Дальнейшее понижение температуры испытания приводит к интенсивному фазообразованию, и, как следствие, увеличению инженерной прочности и снижению инженерной пластичности облучённой стали 12Х18Н10Т (кривые 6,7).



Рисунок 7. Изменение содержания мартенситной α'-фазы при деформации необлучённой стали 12X18H10T с термообработкой 1050°С 30 минут с различной температурой испытания



Рисунок 8. Изменение содержания мартенситной  $\alpha'$ - фазы при деформации стали 12X18H10T облучённой нейтронами до флюенса 1,9x10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup> и испытанной при различной температуре

#### Заключение

В результате цикла низкотемпературных (до -100°С) экспериментов на одноосное растяжение показана возможность воспроизведения «волны деформации» в специально обработанной (упрочнённой) необлученной и облучённой нейтронами стали. При этом варьирование температуры испытания рассматривалось как способ управления мартенситным  $\gamma \rightarrow \alpha'$  переходом.

Обнаружен эффект увеличения пластичности облучённых нейтронами стальных образцов, полученный путём целеноправленного снижения температуры испытания. При этом большую роль играет получение оптимальной кинетики мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращения.

#### Литература

- Максимкин, О.П. «Аномальное» деформационно-пластическое поведение аустенитной стали 12Х18Н10Т, облученной до 55 сна в реакторе БН-350 / Гусев М.Н., Осипов И.С., Гарнер Ф.А. // Сборник докладов 8-й Международной Научной Конференции по реакторному материаловедению (Димитровград, Россия, 2007, 20-25 мая).
- Рыбин, С.В. Статическое растяжение облучённой нейтронами реакторной стали в лабораторной низкотемпературной (до -185 °C) камере./ Гусев М.Н. // Сборник статей III международной конференции при фонде первого президента РК (часть 3, стр. 9-12)
- 3. Максимкин, О.П. Метод изучения локализации деформации в металлических материалах, облученных до высоких
- повреждающих доз/ Гусев М.Н., Осипов И.С. //Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2006. № 11. Т. 72. С. 52-55. 4. Максимкин, О.П. Параметры образования мартенситной α-фазы при деформации нержавеющих сталей, облученных в реакторах ВВР-К и БН-350 / Гусев М.Н., Осипов И.С. // Вестник НЯЦ, вып.3., 2007, с.12-17.
- Рубан, С.В. Новые результаты низкотемпературных механических испытаний образцов стали 12Х18Н10Т, необлучённых и облучённых быстрыми нейтронами./Гусев М.Н., Рыбин С.В.// Сборник статей 6 семинара «Ядерный потенциал Казахстана». 3-4 декабря 2009г.

# НЕЙТРОНДАРМЕН СӘУЛЕЛЕНДІРІЛМЕГЕН ЖӘНЕ СӘУЛЕЛЕНДІРІЛГЕН МЕТАТҰРАҚТЫ 12Х18Н10Т БОЛАТТА «ДЕФОРМАЦИЯ ТОЛҚЫНДАРЫН» ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРДЕЛЕУ

#### Рубан С.В., Максимкин О.П., Гусев М.Н., Рыбин С.В., Мережко М.С.

#### ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Әртүрлі алғашқы комплексті механикалық қасиеттерін қалыптастыру үшін арнайы жылулық өңдеуге түскен, нейтрондармен сәулелендірілмеген және сәулелендірілген 12Х18Н10Т болат үлгілеріне механикалық сынақ жүргізілді.

Бір өсті созылуға төмен температуралық (-100°С дейін) эксперименттер циклы нәтижесінде арнайы өнделген (беріктелген) нейтрондармен сәулелендірілмеген және сәулелендірілген 12Х18Н10Т болатта «деформация толқындарының» қайта жаңғыру мүмкіндігі көрсетілді. Мұнда сынақ температурасын түрлендіру мартенситтік γ→α' ауысуды басқару тәсілі ретінде қарастырылды.

Сәулелендіру нәтижесінде материалдың пластикалылығының өсу жәйіті табылды және зерттелді. Сәулелендірілген үлгілердің пластикалылығының өсуі созылу үрдісіндегі мартенситтік а' фазаның оңтайлылау кинетикалық түсуімен байланысты екені көрсетілді

# EXPERIMENTAL STUDYING OF "THE DEFORMATION WAVE» IN THE METASTABLE 12CR18NI10TI STEEL NOT IRRADIATED AND IRRADIATED WITH NEUTRONS

### S.V. Ruban, O.P. Maksimkin, M.N. Gusev, S.V. Rybin, M.S. Merezhko

# Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Mechanical tests of the samples of a 12Cr18Ni10Ti steel, not irradiated and irradiated with neutrons, subjected to special heat treatment for formation of a various initial complex of mechanical properties, are conducted.

As a result of a cycle low-temperature (to-100°C) experiments on one-axis stretching not irradiated and irradiated with neutrons 12Cr18Ni10Ti steel, specially processed (strengthened), is shown the reproduction possibility of "a deformation wave» in that steel. Thus the variation of temperature of test was considered as a way of management martensitic  $\gamma \rightarrow \alpha$  ' transformation.

The fact of increase in plasticity of a material as a result of an irradiation is found out and investigated. It is shown that the increase in plasticity of the irradiated samples is connected with more optimum kinetic losses martensitic  $\alpha'$  - phases in the course of a stretching.

### УДК 669.293'6'71:539.23:537.312.62

# ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУР НА СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДНИКА

#### Жаканбаев Е.А.

# Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Объектом исследования являются образцы слоистых структур NbTiN и NbTaN полученные методом магнетронного осаждения. В результате исследования получены новые данные зависимости типов проводимости и температур сверхпроводящих переходов от толщин слоистых структур сверхпроводника

#### Введение

Вопрос о высокотемпературной сверхпроводимости принадлежит к числу наиболее интересных физических проблем и, во всяком случае, проблем потенциально важных с точки зрения их технических применений. Особое место занимают вопросы связанные с энергией - ее получением и потреблением. В частности для энергетики важным является вопрос о том чтобы при прохождении электрического тока по проводами, вообще всегда, когда речь идет об электроприборах, линиях электропередач, выгодно, чтобы как можно меньше электроэнергии переходило в тепло. Для этого нежно иметь проводники с минимальным сопротивлением и с необходимой прочностью. Уже из вышесказанного видно, какую роль могли бы играть сверхпроводящие материалы, вообще лишенные сопротивления. Однако большинство из них сверхпроводят только ниже определенной критической температуры T<sub>c</sub>. Эпоха исследования сверхпроводимости начинается с 1911 года когда была открыта сверхпроводимость ртути с температурой перехода T<sub>c</sub>=4,15К. В дальнейшем были открыты другие сверхпроводники, но у всех у них вплоть до 1986 года Тс не превосходила 24 К. Тем не менее, сверхпроводники с температурой перехода T<sub>c</sub><20К нашли, начиная с 60-х годов 20 века свое широкое применение. Начиная с 1987 года, удалось достичь температуры перехода в сверхпроводящее состояние сравнимой с жидким азотом, у которого при атмосферном давлении температура кипения равна 77К что позволило использовать в качестве хладагента использовать не дорогостоящий гелий а более дешевый жидкий азот. Но такая температура была получена на металлокерамике и к сожалению изготовлять из нее некий технологический продукт очень тяжело. К тому же производство высокотемпературных образцов на данный момент является штучным, в основном для исследовательских целей. На сегодняшний момент перспективным направлением получения новых материалов является создание материалов на основе наноструктур. Систематическими исследованиями в области физики малых частиц надежно установлено, что свойства материалов, представленных субмикронными частицами, существенно отличаются от своих объемных аналогов. Поэтому перспективным направлением поиска является систематическое изучение влияния размерного фактора на физические свойства сплавов на его основе. [1]

Ионно-плазменное распыление металлов и последующее осаждение их на подложку в виде островковых пленок является наиболее широко используемым способом получения покрытий с нанокристаллической структурой. Островковые пленки относятся к ультрадисперсным системам, поверхностная энергия которых сравнима с объемной составляющей. В этой связи частицы в островковой пленке, размеры которых менее некоторого критического, могут оказаться на грани, разделяющей твердое и жидкое состояние вследствие, так называемого, термофлуктуационного плавления [2]. И, если использование эффекта термофлуктуационного плавления при получении сплавов уже находит свое применение [3-5], то фактов использования наночастиц при гетерофазном синтезе соединений, например, нитридов металлов к настоящему времени нет.

#### 1. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ

Для осуществления синтеза покрытий нитрида ниобия и нитрида титана использовалась установка для магнетронного напыления, включающая вакуумную камеру, вакуумную систему и систему напуска газа. В вакуумной камере смонтированы 4 магнетрона планарного типа постоянного тока (рисунок 1).

Специально разработанный двухканальный блок питания магнетронов имеет мощность на каждом из каналов до 1 кВт и позволяет плавно изменять мощность на каждом из магнетронов раздельно. Таким образом, магнетронная установка имеет современные высокоэффективные магнетронные распылители и адаптированные к ним источники высокого напряжения. При осаждении использовалась аргон – азотная смесь с концентрацией азота 28 об % азота. Температура подложек во время осаждения не превышала 50°С.



ишени; 2-магнетроны; 3- лента;
4-окно; 5- подложки; 6-корпус



Рисунок 1. Система транспортировки образцов

#### 2 Результаты и обсуждение

Ранее при проведении испытаний, технологии синтеза сверхпроводящей фазы нитрида ниобия, применительно к магнетронам планарного типа разработанной конструкции были установлены оптимальные параметры осаждения: суммарная мощность магнетронов, рабочее давление в камере, скорость перемещения подложки, концентрация азота. Получены образцы с покрытиями из нитрида ниобия, на различных типах подложек: Al, α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu, Si(mono). Были определены оптимальные режимы получения сверхпроводящего покрытия с табличными характеристиками. И в результате изучения сверхпроводящих свойств температура критперехода сверхпроводящего покрытия Nb-N составила – 16 К. Далее нами была отработана методика получения слоистых структур нитрида ниобия и нитрида титана при последовательном уменьшении толщины слоев. Были получены образцы слоистых покрытий нитрида ниобия и нитрида титана с табличными параметрами решеток нитрида ниобия и нитрида титана. Но следует отметить что осаждение слоистой структуры TiNbTiN при параметрах осаждения полученных для моно нитридов титана и ниобия сверхпроводимость отсутствует.

В дальнейшем при исследовании особенностей формирования сверхпроводящей фазы нитрида ниобия, при работе магнетронного устройства в одиночном и парном режиме. Были выявлены технологические особенности синтеза сверхпроводящей фазы нитрида ниобия. Была доказана невозможность достичь необходимой величины критперехода при работе одного магнетрона в отличии от парного режима работы что было обусловлено тем что при работе двух магнетронов необходимо большее количество азота в азот содержащей плазме. Что и повлияло на отсутствие сверх проводимости в слоистой стурктуре NbN-TiN. Далее была произведена модернизации камеры путем добавления двух магнетронов расположенных перпендикулярно по отношению к уже установленным. В результате нами получены слоистые покрытия: TiN-NbN-TiN, TaN-NbN-TaN. Результаты криогенных испытаний систем: Nb представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерений сопротивления от температуры для слоистой системы (TiNbTi)N

Образец №	время слой/м	давление мм рт ст	ТсК
2-1 TiNbTi	40	3*10 <sup>-3</sup>	14,7
2-3 TiNbTi	30	3*10 <sup>-3</sup>	14,3
2-5 TiNbTi	25	3*10 <sup>-3</sup>	нет
2-7 TiNbTi	25	4*10 <sup>-3</sup>	14.0K
2-21 TiNbTi	10	3*10 <sup>-3</sup>	14.3
2-10 TiNbTi	10	5.5*10 <sup>-3</sup>	13,9
2-23 10 TiNbTi	10	3*10 <sup>-3</sup>	14,3
2-22 TiNbTi	9	3*10 <sup>-3</sup>	14,2
2-24 TiNbTi	9	3*10 <sup>-3</sup>	13,5
2-25 TiNbTi	8,5	3*10 <sup>-3</sup>	начало 1%
2-23 TiNbTi	8	3*10 <sup>-3</sup>	нет
2-13 TiNbTi	5	5.5*10 <sup>-3</sup>	нет
2,14 TiNbTi	5	5.7*10 <sup>-3</sup>	нет
2,15 TiNbTi	5	6*10 <sup>-3</sup>	начало 14К 0,1%
2-16 TiNbTi	5	6,5*10 <sup>-3</sup>	начало 16,5К 2,5%
2-17 TiNbTi	5	7*10 <sup>-3</sup>	нет
2-19 TiNbTi	5	7,5*10 <sup>-3</sup>	начало 13,8К 1,2%
2-20 TiNbTi	5	9*10 <sup>-3</sup>	начало 14К 4%

Измерения толщины покрытий производилось как и весовым методом так и методом Резерфордовского обратного рассеяния. В результате была получена скорость формирования слоев металла в зависимости от времени и скорость составила ~10 нм/мин. На основании этого можно сказать что метод магнетронного осаждения позволяет получать слоистые покрытия с сохранением сверхпроводящих свойств с толщиной слоев до 90 нм.



Рисунок 2. Сверхпроводящий переход в системе TiN-NbN-TiN с толщиной слоев 100 нм

# Литература

- 1. Гершензон, М.Е. Исследование сверпроводящих свойств пленок Nb и NbN, полученных методом высокочастотного катодного распыления. / М.Е. Гершензон // ЖТФ. 1980. Т.50, №3. С.572.
- Барабаш, О.М. Кристаллическая структура металлов и сплавов / О. М. Барабаш, Ю. Н. Коваль. К. : Наукова думка. 1986. - 598 с.
- Пушин, В.Г. Электронно микроскопическое исследование структуры пленок нитрида ниобия. / В. Г. Пушин // ФММ. 1986. - Т.61, №1, - С.136.
- 4. Будянский, М.Я. Повышение воспроизводимости получения тонких сверхпроводниковых пленок нитрида ниобия./ М. Я. Будянский // Сверхпроводимость, физика химия, техника. 1992. Т.5, №10. С.1050.
- Антонова, Е.А. Фазовый переход гранулированных сверхпроводящих пленок. / Е. А. Антонов, В. Л. Рузинов // Письма в ЖЭТФ. – 1988. - Т.48, вып.6. - С.323.

### АСА ӨТКІЗГІШ ҚАСИЕТТЕРІНЕ НАНОСТРУКТУРАЛАРДЫҢ ЫҚПАЛЫН ЖАСАУЫ

#### Жаканбаев Е.А.

#### ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Зерттеу объектісімен әдіспен алынған NbTiN, NbTaN магнетрондық тұндыру қатпарлы құрылымдарының үлгілері жасалған. Зерттеу нәтижесінде өткізгіштік үлгілерінің жаңа тап осы тәуелділіктері алынған және аса өткізгіш қатпарлы құрылымдарының жуандығының аса өткізген асулардың температураларының.

### NANOSTRUCTURE INFLUENCE ON PROPERTIES OF A SUPERCONDUCTOR

#### Y.A. Zhakanbayev

# Institute of Nuclear Physics NNC KZ, Almaty, Kazakhstan

Object of research are samples of layered structures NbTiN and NbTaN received by a method magnetron sputtering sedimentation. As a result of research the new given dependences of types of conductivity and temperatures of superconducting transitions from thickness of layered structures of a superconductor are obtained.

На рисунке 2 показан сверхпроводящий переход в системе TiN-NbN-TiN с толщиной слоев 100 нм.

# Заключение

Исследованы структура и фазовый состав сложных нитридов титана и ниобия в зависимости от соотношения компонент. Установлены концентрационные границы существования сверхпроводящей фазы нитрида ниобия при различном соотношении компонент ниобия и титана.

Осуществлена методика получения слоистых структур  $\delta$ 1-нитрида ниобия и нитрида титана и получены образцы для исследования их электрофизических свойств в области криогенных температур.

Создана установка для низкотемпературных измерений электросопротивления вплоть до 16 К и произведены измерения зависимости сопротивления от температуры на полученных образцах. Полученные результаты позволяют предполагать существование электрон – экситонного взаимодействия в слоистых структурах.

# ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РЕАКТОРА ИГР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА МАТЕРИАЛОВ

#### Избасханова А.Т., Кенжин Е.А.

# Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Одним из основных факторов, влияющих на безопасность ядерных установок, является «поведение» конструкционных материалов, определяемое температурой их радиационного разогрева. Для проведения реакторных исследований радиационного разогрева разработан комплекс ЭУ РР-1, РР-2 и РР-3, позволяющий проводить калориметрические и теплофизические эксперименты, обеспечивая контактные и высокоточные измерения тепловых характеристик тестируемых материалов. Анализ результатов НФР и ТФР позволил выбрать «деловые» параметры работы реактора ИГР для данных исследований.

# АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИАЦИОН-НОГО РАЗОГРЕВА МАТЕРИАЛОВ

Исследования, направленные на повышение безопасности и эксплуатационной надежности реакторных установок - перспективны по приоритетности мер, предотвращающих возникновение аварий. Определяющим фактором, обеспечивающим безопасную эксплуатацию ядерного реактора, в рабочих и различных аварийных ситуациях является «поведение» материалов, «работающих» в условиях высоких температур, больших термических градиентов и интенсивного излучения. Поэтому выбор реакторных материалов является логической процедурой, в ходе которой достигается удовлетворение требований, связанных с назначением, техническими характеристиками и ожидаемой работоспособностью ядерной установки. При выборе материалов необходимо учитывать параметры нейтронного потока, приводящих к изменению их характеристик вследствие радиационного разогрева, определяющих степень деформации, а порой и разрушения материалов.

Изучение особенностей радиационного разогрева в условиях облучения в исследовательском реакторе ИГР представляет особый интерес, как с точки зрения установления достоверных данных о температурах радиационного разогрева конструкционных материалов в реальном масштабе времени в зависимости от параметров облучения, так и для прогнозирования их «поведения». Оценка степени деформации материалов основанная на изменении их термомеханического поведения, вследствие облучения в импульсном графитовом реакторе ИГР, позволит определить критические эксплуатационные пределы для тестируемых образцов в зависимости от температуры радиационного разогрева и данных по распределению плотности потока нейтронов по всей высоте активной зоны.

В эпоху реакторов нового поколения быстрых, высокотемпературных и газовых возникает необходимость в создании материалов отвечающих требованиям современных технологий. Экспериментальные исследования радиационного разогрева позволят создать базу данных «поведения», как химически «чистых» материалов, так и их различных соединений в необходимой пропорции и последовательности. В базе данных будет отражена взаимосвязь между условиями работы реакторной установки и температурой радиационного разогрева широкого набора материалов, используемых в реакторостроении. Параметры, заложенные в базу данных, позволят создать принципиальные подходы к конструированию материалов нового поколения. То есть, база данных предоставляет возможность для разработки и создания путем комбинирования новых радиационно-стойких материалов, которые обладая требуемым набором свойств, будут способны работать в условиях высокопоточного излучения любой реакторной установки [2, 4, 12].

#### Постановка задачи

Идея научной работы по изучению теплофизических свойств конструкционных материалов, принадлежит авторскому коллективу ВНИИТФ (Россия) и ИАЭ НЯЦ РК (Казахстан). Для реализации этой идеи авторами данной статьи ведется подготовка серии физических экспериментов по исследованию особенностей радиационного разогрева реакторных материалов. Анализ результатов предыдущих методических экспериментов позволил учесть и внести необходимые поправки и дополнения в постановку планируемых, при этом были изучены и приняты во внимание процессы, сопровождающие облучение материалов в активной зоне реактора ИГР [2-4].

# Описание экспериментального устройства

Исследование радиационного разогрева материалов предполагает их тестирование в условиях комплексного воздействия факторов эксплуатации, то есть непосредственно в процессе работы реакторной установки. Для возможности облучения исследуемых материалов в активной зоне реактора ИГР было разработано и создано базовое экспериментальное устройство (ЭУ) PP-1 (рисунок 1), на основе которого в дальнейшем были разработаны его модификации PP-2 и PP-3 (рисунки 2 и 3). ЭУ PP-1, PP-2 и PP-3 отличаются друг от друга наличием в ЭУ PP-2 обечайки (14), выполненной из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, предназначенной для изменения соотношения между флюенсом нейтронов и гаммаизлучения в образцах. В ЭУ РР-3 используется экранирующий цилиндр (14), состоящий из обечайки,



корпус - силовой чехол в сборе со стаканом, 2 - крышка с экспериментальной навеской, 3 - разъемы датчиков, 4 - нижний штуцер Ду10 (2 шт), 5 - верхний штуцер Ду10 (2 шт), 6 - штуцер Ду4 (1 шт).
гермопроходник (на 50 контактов), 8 - регулировочный стержень,
диск (2 шт), 10 - кварцевый ложемент (13 шт), 11 - образец исследуемого материала (13 шт), 12 - стопорный винт (8 шт), 13 – термопары.

днища и крышки, выполненный из кадмиевой фольги, который обеспечивает максимальную минимизацию потока тепловых нейтронов в условиях критичности системы «реактор ИГР – ЭУ РР-3» [3, 8, 9].







Рисунок 2. Геометрия экспериментального устройства РР-2

# ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РЕАКТОРА ИГР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА МАТЕРИАЛОВ



корпус - силовой чехол в сооре со стаканом, 2 - крыпка с экспериментальной навеской, 3 - разъемы датчиков, 4 - нижний штуцер Ду10 (2 шт), 5 - верхний штуцер Ду10 (2 шт), 6 - штуцер Ду4 (1 шт).
гермопроходник (на 50 контактов), 8 - регулировочный стержень,
9 - диск (2 шт), 10 - кварцевый ложемент (13 шт), 11 - образец исследуемого материала (13 шт), 12 - стопорный винт (8 шт), 13 - термопары, 14 - экранирующий цилиндр из кадмиевой фольги.



Рисунок 3. Геометрия экспериментального устройства PP-3

# ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБРАЗЦАМ ИССЛЕДУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

В качестве образцов для исследований было решено использовать такие химически «чистые» материалы, как медь, никель, молибден, кобальт, вольфрам, цинк, цирконий, бериллий, свинец, тантал, а также реакторный графит марок - ГМЗ, 11-03, APB-1. При выборе материалов был проведен элементный анализ, определяющий их химический состав и позволяющий контролировать присутствие в них элементов, поглощающих нейтроны – бора, кадмия, гадолиния. Также были определены данные по теплоемкости, проведены измерения гидростатической плотности и сравнительный анализ с литературными источниками для каждого из исследуемых материалов [2, 11, 12].

При изготовлении образцов были приняты меры по не допущению разрушения хрупких материалов во время их резки (например, реакторный графит). Образцы были изготовлены с учетом всех требований предъявляемых к ним. Для этого были определены технические условия резки образцов и заданы параметры шероховатости. Каждый образец был изготовлен геометрически правильной формы (цилиндр или куб), размером – не более 1 см<sup>3</sup> и весом – не более 23 гр. (рисунок 4). Необходимость соблюдения этих требований связана, как с геометрическими и прочностными характеристиками кварцевых ложементов, так и с точностью регистрации температуры радиационного разогрева каждого образца. Для возможности их термометрирования во всех образцах строго по центру было выполнено по одному отверстию диаметром соответствующим размеру рабочего спая термопары. После чего геометрические параметры образцов были замерены с погрешностью не более 0,02 мм, а масса определена с погрешностью не более 0,01 грамма.



Рисунок 4. Образцы исследуемых материалов

Исследуемые материалы располагаются в представленных экспериментальных устройствах таким образом, чтобы минимизировать взаимное тепловое влияние и обеспечить режим калориметрического измерения. Каждый образец электрически изолирован друг от друга, что обеспечивается размещением не более одного образца в одном ложементе, выполненном из кварца КС-4В. На основании теплофизических и химических свойств исследуемых материалов составлена картограмма размещения образцов относительно друг друга и определено месторасположение каждого из них (рисунки 5 и 6) [2, 3, 9, 11, 12].
## ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РЕАКТОРА ИГР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА МАТЕРИАЛОВ



1 – образец графита марки ГМЗ (отражатель), 2 – образец графита марки 11-03 (замедлитель), 3 – образец графита марки АРВ-1, 4 – образец тантала, 5 – образец циркония, 6 – образец бериллия

#### Рисунок 5. Картограмма размещения образцов исследуемых материалов верхнего диска

## Описание ректора ИГР

Для выполнения полномасштабных исследований радиационного разогрева в качестве экспериментальной установки предложен уникальный и не имеющий действующих аналогов в мире реактор ИГР. Выбор исследовательского реактора ИГР не был случайным, поскольку предназначенный для получения высокой плотности потоков нейтронов  $(7 \cdot 10^{16} \text{ н/(см}^2 \cdot c))$  и гамма-излучения (4,78 · 10<sup>7</sup> рад) реактор обеспечивает возможность моделирования проектных и запроектных тепловых и радиационных нагрузок на объект испытаний, при имитации переходных и аварийных режимов работы. Реактор ИГР работает в режимах программируемых импульсов мощности на теплоемкости и по принципу гаше-



Рисунок 7. Нерегулируемый режим работы реактора ИГР - «Вспышка»



7 – образец меди, 8 – образец никеля, 9 – образец свинца,
10 – образец молибдена, 11 – образец кобальта, 12 – образец цинка,
13 – образец вольфрама

Рисунок 6. Картограмма размещения образцов исследуемых материалов нижнего диска

ния импульса является самогасящимся. Режимами его работы являются:

- нерегулируемый режим «Вспышка» режим самогасящейся нейтронной вспышки, в котором максимальное значение плотности потока тепловых нейтронов достигает величины 7·10<sup>16</sup> н/(см<sup>2</sup> с) при минимальной полуширине ~ 0,12 с (рисунок 7);
- регулируемый режим «Импульс» с длительным (до нескольких сотен секунд) поддержанием заданного уровня мощности. В этом режиме возможна реализация предельного для реактора ИГР энерговыделения порядка 5,2 ГДж, что приводит к разогреву графитовой кладки активной зоны до 1400 К (рисунок 8).



Рисунок 8. Регулируемый режим работы реактора ИГР - «Импульс»

Установленные для реактора ИГР эксплуатационные пределы определяют режимы работы реактора и параметры облучения ЭУ РР-1, РР-2 и РР-3. Исходя из термопрочностных характеристик графита активной зоны, которые устанавливают предельный уровень разогрева кладки, составляющий 1400 К, определяется допустимое за импульс значение энерговыделения в активной зоне. Следовательно, максимальная длительность работы реактора обратно пропорциональна его мощности [7, 8].

## Выбор и обоснование параметров работы реактора ИГР для исследования радиационного разогрева

Для обоснования возможности проведения реакторных испытаний, обязательным условием является предэкспериментальное расчетное определение максимальной температуры образцов как исследуемых, так и конструкционных материалов, располагаемых в ЭУ РР-1, РР-2 и РР-3 в зависимости от выбранных режимов работы реактора и параметров их облучения. Данные полученные в результате нейтронно-физических и теплофизических расчетов





Рисунок 9. Диаграмма изменения мощности и энерговыделения в реакторе ИГР (режимы 1-2)



Рисунок 11. Диаграмма изменения мощности и энерговыделения в реакторе ИГР (режимы 7-8)

## Нейтронно-физический расчет

Цель численного анализа заключается в расчетном определении энерговыделения в образцах, как исследуемых, так и конструкционных материалов, (НФР и ТФР) позволяют прогнозировать «поведение» материалов представленного комплекса ЭУ и произвести выбор «деловых» параметров облучения из предложенных режимов работы реактора ИГР.

Для проведения серии физических экспериментов по исследованию радиационного разогрева конструкционных материалов были отработаны пусковые условия. Выбраны предварительные режимы работы реактора ИГР и параметры облучения исследуемых образцов, располагаемых в ЭУ PP-1, PP-2 и PP-3. Отработаны диаграммы пусков реактора (заданы значения мощности, величины энерговыделения и рассчитана продолжительность каждого пуска). Учитывая функцию распределения нейтронного потока по высоте центрального экспериментального канала реактора, было принято решение, что облучение указанных устройств должно проводиться в геометрическом центре активной зоны, где он достигает максимального значения. Диаграммы изменения мощности и энерговыделения в реакторе ИГР во время экспериментов для девяти заданных режимов показаны на рисунках 9-12.



Рисунок 10. Диаграмма изменения мощности и энерговыделения в реакторе ИГР (режимы 3-6)



Рисунок 12. Диаграмма изменения мощности и энерговыделения в реакторе ИГР (режим 9)

располагаемых в экспериментальных устройствах PP-1, PP-2 и PP-3, и определение значения эффективного коэффициента размножения нейтронов системы «ЭУ PP – реактор ИГР». НФР был проведен с помощью предоставленной LANL (Лос-Аламосская Национальная Лаборатория, США) программой MCNP5 с библиотеками констант ENДF/B-5,6, относящейся к числу универсальных программ прямого моделирования для решения задач переноса излучения в произвольной трехмерной геометрии. Расчетная модель реактора ИГР для программы MCNP5 максимально приближена к существующей конструкции реактора. Также задана реальная трехмерная геометрия расположения ЭУ с образцами исследуемых материалов. В расчете принималось, что центр всех представленных моделей ЭУ PP-1, PP-2 и PP-3 совпадает с центром активной зоны реактора. Начальная температура облучаемых материалов и температура графитовой кладки реактора принималась равной 300 К.

В результате проведенного для девяти миллионов историй нейтронно-физического расчета было определено, что наибольшие значения удельной мощности энерговыделения достигаются в образцах из тантала, кобальта, вольфрама и меди, а в конструкционных материалах - в кадмии. Также было установлено, что наличие экранирующего цилиндра, выполненного из кадмиевой фольги приводит к существенному снижению энерговыделения в тестируемых образцах, что объясняется кадмиевой отсечкой потока тепловых нейтронов. В то же время увеличение толщины кадмиевой обечайки с 0.5 до 1 мм не оказывает существенного влияния. НФР показал, что геометрия ЭУ PP-1. PP-2 и PP-3 вносит минимальное искажение в нейтронное и гамма-поле центрального экспериментального канала реактора ИГР [1, 7, 8, 10-13].

## Теплофизический расчет

Определение максимальной температуры тестируемых образцов, а также материалов конструкции комплекса ЭУ при предложенных режимах работы реактора ИГР и условиях облучения было проведено с учетом параметров энерговыделения, полученных в результате НФР. В теплофизическом расчете было учтено, что все образцы, располагаемые в ЭУ РР-1, РР-2 и РР-3 во время эксперимента будут находиться в вакууме в кварцевых ложементах и площадь контакта между образцом и ложементом будет крайне мала и соответственно теплообмен между ними будет незначителен. В расчете было определено, что основные потери энергии образцом будут происходить за счет излучения. Теплообмен излучением будет иметь место между образцами и внутренней поверхностью ЭУ. При проведении ТФР начальная температура образцов и стенки корпуса силового чехла ЭУ была принята равной 300 К. Если в результате расчета конечная температура получалась выше температуры плавления, то при расчете учитывалось, что часть энергии, получаемой образцом во время эксперимента, тратится на плавление материала образца.

Все эксперименты, проводимые при работе реактора в режиме «Импульс» (режимы испытаний от №3 до №9), были разделены на две группы: 1-я группа – эксперименты длительностью менее 12 секунд; 2-я группа – остальные эксперименты. В расчете, проводимом для первой группы экспериментов, потерями энергии за счет излучения пренебрегли, так как длительность экспериментов мала и, следовательно, относительное количество энергии, отданное образцом за счет излучения, не превысит погрешность расчета. При этом для второй группы экспериментов были определены значения потери энергии образцов за счет теплового излучения.

В результате выполненного ТФР было определено, что:

- только температура образцов из свинца во время экспериментов, проводимых при работе реактора в режиме «Вспышка», будет сравнима с температурой плавления; остальные образцы будут иметь температуру намного ниже температуры плавления материала, из которого они сделаны;
- повышение температуры всех образцов в ЭУ PP-2 во время экспериментов в режиме «Вспышка» практически совпадает с повышением температуры образцов в ЭУ PP-1;
- увеличение длительности экспериментов для ЭУ PP-1 при работе реактора в режиме «Импульс» с 3 до 4000 с приводит к заметному уменьшению роста температуры образцов. Повышение температуры образцов из вольфрама, тантала и свинца снижается – на 60 %; образцов из кобальта, графита и циркония – на 40 %; образцов из молибдена и цинка – на 30%; образцов из меди и никеля – на 20%; образцов из бериллия – на 10 %;
- во время экспериментов, проводимых при работе реактора в режиме «Импульс» длительностью менее 12 с, расчетное повышение температуры образцов в ЭУ РР-1 и РР-2 практически совпадает с ростом температуры во время экспериментов, проводимых в режиме «Вспышка».

Предварительный теплофизический расчет показал невозможность планирования экспериментов с образцами из тантала, вольфрама в ЭУ РР-1 и РР-2 на режимах с энерговыделением более 1 ГДж, а с образцами из кобальта и свинца на режимах с энерговыделением более 2,5 ГДж, в связи с их плавлением и даже частичным переходом в жидкое состояние. Также было определено, что экранирующий цилиндр, из кадмиевой фольги, установленный в ЭУ РР-3 при энерговыделении в реакторе ИГР более 20 МДж применять нельзя. Для того чтобы температура кадмиеэкранирующего цилиндра не вого достигла температуры плавления энергия, выделяемая в реакторе ИГР должна быть ниже 20 МДж.

Было обнаружено, что тепловые границы допустимого применения кварцевого стекла КС-4В, из которого выполнены ложементы, не позволяют планировать эксперименты в режиме «Импульс» с энерговыделением 5,2 ГДж для ЭУ РР-1 для образцов из кобальта, вольфрама, тантала и свинца. В связи с тем, что максимальная постоянная рабочая температура кварцевого стекла КС-4В составляет 1223 К, а температура размягчения составляет от 1873 до 2023 К, испытания образцов из свинца и кобальта на режимах с энерговыделением 5,2 ГДж возможны, если пренебречь искривлением кварцевых ложементов во время проведения экспериментов [1, 4, 5, 7, 8, 10-12].

## Теплофизический расчет при минимальном энерговыделении

По результатам предварительных НФР и ТФР было принято решение о выборе дополнительных параметров облучения. С учетом всех вышеперечис-



Рисунок 13. Диаграмма изменения мощности и энерговыделения в реакторе ИГР (режим 10)



Рисунок 15. Диаграмма изменения мощности и энерговыделения в реакторе ИГР (режим 12)

В расчете было учтено, что исследуемые образцы будут находиться в вакууме в кварцевых ложементах и длительность энерговыделения в режиме «Импульс» не превысит 44 с, а суммарное энерговыделение будет не более 20 МДж, следовательно, повышение температуры образцов во время эксперимента будет незначительным, поэтому при расчете утечками тепла можно пренебречь. При проведении ТФР температура стенки корпуса ЭУ РР-1, РР-2 и ленных фактов данный ТФР был проведен при тех же исходных данных, что и предыдущий, но при условиях, не являющихся критическими с точки зрения повреждения конструкции экспериментальных устройств и разрушения образцов, то есть при минимальном энерговыделении в активной зоне реактора ИГР. Параметры облучения образцов материалов можно разделить на две группы: 1-я группа – эксперименты с энерговыделением 20 МДж, 2-я группа – эксперименты с энерговыделением 20 МДж. Диаграммы изменения мощности и энерговыделения в реакторе ИГР во время экспериментов для четырех вновь заданных режимов показаны на рисунках 13 – 16.

Диаграмма "Импульса", режим 11



Рисунок 14. Диаграмма изменения мощности и нерговыделения в реакторе ИГР (режим 11)





Рисунок 16. Диаграмма изменения мощности и энерговыделения в реакторе ИГР (режим 13)

РР-3 и начальная температура образцов была принята равной 300 К.

В результате выполненного ТФР было определено, что при энерговыделении в активной зоне реактора не более 20 МДж обеспечиваются условия предотвращающие плавление и разрушение материалов при их тестировании в центре активной зоны реактора.

Полученные в результате НФР и ТФР данные критически проанализированы, после чего было принято решение о выборе режимов работы реактора ИГР и «деловых» параметров облучения при различном энерговыделении представленного комплекса экспериментальных устройств PP-1, PP-2 и PP-3 [1, 4, 6-8, 10-12].

### Заключение

В процессе подготовки серии физических экспериментов по исследованию радиационного разогрева конструкционных материалов было определено, что данные полученные в результате предэкспериментальных НФР и ТФР позволяют прогнозировать «поведение» материалов представленного комплекса ЭУ РР-1, РР-2 и РР-3. Сравнительный анализ расчетных значений температур, полученных при заданных характеристиках работы реактора ИГР (интегральной мощности, энерговыделения и продолжительности пусков) стал обоснованием для выбора «деловых» параметров облучения материалов в данной серии экспериментов.

Было определено, что разработанная конструкция облучательного устройства предоставляет возможность проведения калориметрических и теплофизических экспериментов в условиях контролируемой теплоотдачи и варьируемого теплосъема и позволяет изменять спектр нейтронного потока и соотношение нейтронного и гамма-излучения. Установлено, что реактор ИГР и комплекс экспериментальных устройств допускают получение предельных нейтронных потоков, как по длительности, так и по интенсивности нейтронного излучения обеспечивая при этом контактные и высокоточные измерения тепловых характеристик каждого из исследуемых образцов. То есть реактор ИГР и комплекс ЭУ РР-1, РР-2 и РР-3 применимы для исследований радиационного разогрева конструкционных материалов и позволяют проводить эксперименты с соблюдением всех правил и требований в обеспечение безопасности [1, 3, 5, 6, 8, 9].

Показано, что результаты исследований радиационного разогрева материалов имеют большое прикладное значение в решении проблемы обеспечения безопасной эксплуатации реакторных установок и позволяют создать базу данных «поведения» широкого набора конструкционных материалов в зависимости от условий работы ядерного реактора. При этом экспериментальные результаты не могут быть реализованы на других реакторных установках, поскольку получены с помощью уникальной научной базы импульсного графитового реактора ИГР на ранее не использованных режимах облучения, в условиях контролируемой теплоотдачи и варьируемого теплосъема, при различных спектрах нейтронного потока и соотношениях нейтронного и гамма излучения.

Определенные экспериментальным путем критические для тестируемых материалов эксплуатационные пределы открывают принципиальные подходы к конструированию новых радиационно-стойких материалов, которые обладая требуемым набором свойств, будут способны работать в условиях высокопоточного излучения. При этом расчетное значение подводимого тепла, критического с точки зрения повреждения целостности конструкции должно быть согласовано с параметрами отраженными в базе данных. Таким образом, база данных «поведения» конструкционных материалов может быть использована при проектировании и создании реакторных установок нового поколения [2, 4, 11, 12].

#### Литература

- Алейников, Ю.В. Радиационный разогрев конструкционных материалов в поле излучения импульсного графитового реактора ИГР / Ю. В. Алейников, А. Т. Избасханова, Е. А. Кенжин, И. В. Прозорова // Вестник НЯЦ РК. – 2010. – № 1(41). – С. 36-41, ISSN 1729-7516.
- 2. Герасимов, В. В. Материалы ядерной техники / В. В. Герасимов, А. С. Монахов. М. : Атомиздат, 1973. 288 с.
- 3. Горин, Н. В. Измерение температуры радиационного разогрева конструкционных материалов излучением ИГР / Н. В. Горин, Я. З. Кандиев, А. И. Ульянов [и др.] // Журн. атомная энергия. 2001. Т. 90, вып. 1. С. 17-21.
- 4. Зиновьев, В. Е. Теплофизические свойства материалов при высоких температурах / В. Е. Зиновьев. М. : Металлургия, 1989. 318 с.
- Игнашев, В. И. Расчетно-экспериментальное определение температуры реакторных материалов в результате радиационного разогрева при различных режимах работы реактора ИГР и условиях облучения / В. И. Игнашев, Т. Избасханова, Е. А. Кенжин // Вестник НЯЦ РК. – 2010. – № 1(41). – С. 42-49, ISSN 1729-7516.
- 6. Игнашев, В. И. Определение максимальной температуры конструкционных материалов в процессе радиационного разогрева в реакторе ИГР при минимальном энерговыделении / В. И. Игнашев, А. Т. Избасханова, Е. А. Кенжин // Вестник НЯЦ РК. 2010. № 1(41). С. 50-54, ISSN 1729-7516.
- 7. Исследование распределения потока тепловых нейтронов по высоте ЦЭК реактора ИГР : отчет о НИР (промежут.) / ВНИИТФ; рук. Н. В. Горин. Снежинск. 1999. 59 с. Рег. № ПС.98.7025.
- Кенжин, Е. А. Исследования радиационного разогрева материалов, используемых в реакторостроении / Е. А. Кенжин, А. Т. Избасханова // Вестник НЯЦ РК. 2009. № 2. С. 158–163.
- Кенжин, Е. А. Экспериментальное устройство для внутриреакторных исследований радиационного разогрева материалов / Е. А. Кенжин, А. Т. Избасханова // Вестник национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2010. – № 1(35). – С. 47–56, ISSN 1606-146X.
- 10. Таблицы физических величин / Справочник под редакцией акад. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976.
- 11. Теплотехнический справочник / Гл. ред. проф. П. Т. Лебедев. М. : Госэнергоиздат. 1957. Т. 1. 896 с.
- 12. Чиркин, В. С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники / В. С. Чиркин. М. : Атомиздат, 1968. 484 с.
- 13. Briesmeister, J. F. MCNP a general Monte-Carlo Code for neutron and photon Transport / J.F. Briesmeister [et al.]. Los Alamos, 1997. LA-7396M.

## МАТЕРИАЛДАРДЫҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚЫЗУЫН ЗЕРТТЕУ ҮШІН ИГР РЕАКТОРЫ ЖҰМЫСЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ТАҢДАУ ЖӘНЕ НЕГІЗДЕУ

#### Ізбасқанова А.Т., Кенжин Е.Ә.

#### ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Ядролық қондырғылардың қауіпсіздігіне ықпал ететін негізгі факторлардың бірі конструкциялық материалдардың радиациялық қызу температурасымен анықталатын «мінез-кұлқы» болып табылады. Радиациялық қызуды реакторлық зерттеу үшін РР-1, РР-2 және РР-3 ЭҚ кешені әзірленді, бұл тестіленетін материалдардың жылу сипаттамаларын түйіспелі әрі жоғары дәлдікпен өлшеуді қамтамасыз ете отырып, калориметрлік және жылу физикалық эксперименттер жүргізуге мүмкіндік береді.

## DETERMINATION AND SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF IGR REACTOR OPERATION TO RESEARCH THE RADIATION HEATING UP OF STRUCTURE MATERIALS

#### A.T. Izbaskhanova, E.A. Kenzhin

#### Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

One of the key factor, effecting the safety of nuclear facilities is "behavior" of structural materials which are determined by their heating up temperature. The complex of ED RR-1, RR-2 and RR-3 is developed to carry out of reactor researches of radiation heating up that made possible to conduct the calorimetric and thermophysical experiments providing contact and high accuracy measurements of heat characteristics of tested materials. The analysis result of neutron-physical calculation and heat-physical calculation has allowed to chose the "business" parameters of IGR reactor operation for the given research data.

#### УДК 539.21:539.12.04:669.3

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ В АРМКО-ЖЕЛЕЗЕ И СТАЛИ СТЗ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ И АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ

#### Максимкин О.П., Гусев М.Н., Токтогулова Д.А.

#### Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Получены новые экспериментальные данные по изменению механических характеристик образцов армкожелеза и стали Ст3, облученных альфа-частицами (10<sup>-3</sup> ат.%) и нейтронами до различных повреждающих доз и деформированных в интервале температур 293–473 К.

Обнаружено, что облучение армко-железа нейтронами и α-частицами приводит к уменьшению эффекта охрупчивания в диапазоне температур протекания процессов ДДС.

#### Введение

В процессе диффузии в твердом растворе может происходить расслоение твердого раствора и формирование концентрационных неоднородностей накопление атомов того или иного сорта на дефектах кристаллической решетки. Для железа и его сплавов достаточно часто отмечается повышенная концентрация атомов азота и углерода на дислокациях. Это явление носит название «формирования примесных атмосфер» («атмосфер Котрелла») и в определенном интервале температур и скоростей деформаций диффузия примесных атомов приводит к периодической блокировке – разблокировке дислокационных источников и протеканию «прерывистой деформации». При этом на инженерной диаграмме растяжения наблюдаются зубцы, срывы нагрузки и/или периодические колебания нагрузки. Данное явление получило название эффект Портевена – Ле Шателье (ПЛШ), а физический процесс, лежащий в его основе — «динамическое деформационное старение» (ДДС). Исследованию ДДС посвящено значительно количество работ [1], [2], но в то же время исследований особенностей ДДС в металлах и сплавах, содержащих дефекты радиационного происхождения, единичны (например, [3]). Вместе с тем такие данные имеют не только научную, но и практическую значимость, поскольку температурный интервал проявления ДДС совпадает с диапазоном рабочих температур металлических деталей и узлов активной зоны энергетических ядерных реакторов при которых большую роль играет трансмутантные гелий и водород [4].

Настоящая работа посвящена выявлению закономерностей ДДС в армко-железе и стали Ст3, облученных нейтронами и альфа-частицами.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследовали плоские образцы армко-железа и конструкционной углеродистой стали Ст3, с размерами рабочей части 10х3.5х0.3мм (подвергнутые термообработке: отжиг в вакууме при 850°С – 3 часа и 500°С - 30мин, соответственно; охлаждение вакуумированной сборки водой). Облучение альфачастицами проводили на изохронном циклотроне У-150 НЯЦ РК (энергия α-частиц 50 МэВ) до равномерной по всему объему концентрации  $1.10^{-3}$  ат.%. Часть образцов подвергали облучению нейтронами на реакторе BBP-К до максимального флюенса 1,4·10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup> (Е>0,1МэВ, температура облучения не выше 80°С). Механические испытания проводили в интервале температур 293-473К, скорость растяжения 8,3<sup>-10<sup>-4</sup>c<sup>-1</sup></sup>. Изучение микроструктуры облученных и деформированных образцов проводили на металлографическом микроскопе Neophot-2.

#### Экспериментальные результаты

#### Армко-железо, облученное нейтронами

На рисунке 1 представлены инженерные диаграммы образцов армко-железа, необлученных и облученных нейтронами, деформированных в диапазоне температур 20-200°С, а в таблице 1 приведены рассчитанные из них механические характеристики. Типичным для инженерных диаграмм растяжения является наличие площадки текучести, связанной с формированием полосы Чернова-Людерса, по окончании которой начинается область деформационного упрочнения. Как видно из рисунка 1, на диаграммах растяжения для необлученного и облученного нейтронами до  $5 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup> железа присутствует также зуб текучести, характерный для ОЦК-материалов. При 20°С кривые течения гладкие, и, как следует из рисунка 1 и таблицы 1, облучение привело к упрочнению материала и снижению его пластичности.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ В АРМКО-ЖЕЛЕЗЕ И СТАЛИ СТЗ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ И АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ



Состояние: 1 – без облучения.; флюенс: 2 -2·10<sup>18</sup>, 3 – 5·10<sup>18</sup>, 4 – 1,4·10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup>. Температура испытания: а)20; б)100; в) 150; г) 200°С (кривая для необлученного железа смещена на 10% по шкале деформаций для наглядности).



При температуре испытания 100°С (рисунок 1а) на кривых течения наблюдается скачкообразное волнообразное изменение нагрузки, амплитуда которого уменьшается с ростом флюенса.

Повышение температуры испытания до 150°С приводит к исчезновению «зубчатост» пилообразных колебаний нагрузки, наблюдаемых при 100°С и появлению мелкой «зубчатост» с амплитудой ~ 10МПа, одновременно с этим наблюдаются крупные скачки нагрузки на площадке текучести (рисунок 1б). При этом следует отметить, что появление подобной малоамплитудной «зубчатост» не сопровождается образованием отчетливо видимых полос на фотоснимках деформируемого образца. Скорее всего, это связано с недостаточным разрешением системы наблюдения за полосой, которая развивается путем скачкообразного подстраивания к ней небольших деформируемых участков. Отметим, что с ростом флюенса при данной температуре испытания амплитуда и количество мелких «зубчико» снижается.

При температуре 200°С «зубчатост» на облученном железе выражена значительно слабее, особенно на начальном этапе (рисунок 1в). При достижении некоторого значения деформации (окрестность предела прочности) поведение образца сильно меняется – «зубчатост» становится сильной и регулярной. Вероятно, стабильная шейка, также как и полосы, развивается как система накладывающихся друг на друга малых полос. Особо подчеркнем практически полное отсутствие «зубчатост» для облученных образцов.

Как известно из литературы [3], развитие ДДС приводит к снижению пластичности армко-железа (явление синеломкости). В то же время представленные нами данные свидетельствуют, что протекание ДДС в облученном нейтронами железе в диапазоне температур 100-200°С приводит к увеличению пластичности по сравнению с необлученных железом.

Иными словами, для повышенных температур развитие ДДС в сопоставлении с радиационно отжиговыми эффектами меняет картину радиационного воздействия на противоположную — чем выше флюенс, тем выше пластичность. Так, при повышении температуры испытания до 200°С в результате упрочнения при деформационном старении пластичность образцов железа при  $\Phi = 1,4 \cdot 10^{19}$  н/см<sup>2</sup> возрастает и становится сравнимой с данными для необлученного железа, испытанного при 25°С.

Таблица 1. Механические характеристики армко-железа необлученного и облученного нейтронами

T, °C	Флюенс, н/см <sup>2</sup>	σ₁, МПа	σ₅, МПа	ε <sub>p</sub> , %	ε, %
	-	250	360	26	32
25	2·10 <sup>18</sup>	276	355	21	29
25	5·10 <sup>18</sup>	320	340	15	24
	1,4·10 <sup>19</sup>	420	-	-	9
	I	210	330	16	21
100	2·10 <sup>18</sup>	220	340	14	20
	5·10 <sup>18</sup>	210	290	18	23
	1,4·10 <sup>19</sup>	370	390	12	16
	-	200	~420	14	18
150	2·10 <sup>18</sup>	220	370	17	23
150	5·10 <sup>18</sup>	200	320	20	23
	1,4·10 <sup>19</sup>	300	420	24	25
	Ι	210	390	17	21
200	2·10 <sup>18</sup>	220	390	15	20
200	5·10 <sup>18</sup>	190	340	20	23
	1,4·10 <sup>19</sup>	250	390	20	23

## 400 125 350 300 20 250 $\Xi_{200}$ 150 100 50 n 40% 20 60 ε, я <del>,</del> МПа 400 300 200 100

100

T, °C

в

0

0

## Армко-железо, имплантированное гелием

Инженерные диаграммы растяжения необлученных и имплантированных гелием образцов армкожелеза, деформированных при температурах 20-200°С приведены на рисунке 2 [5]. Видно, что на кривых растяжения уже при 100°С регистрируется эффект ПЛШ — срывы нагрузки, так называемая «зубчатость» [3] (рисунок 2). На полированной поверхности металла после испытания отчетливо видны многочисленные деформационные полосы. «Зубчатост» на кривых растяжения имплантированных гелием образцов начинает проявляться при 125°С, что несколько выше, чем для исходного железа. Отметим также, что «зубчик» появляются только по достижении некоторой степени деформации б<sub>кр</sub>. На площадке текучести и непосредственно за ней колебания и срывы нагрузки отсутствуют, в то время как на исходных образцах в этой же области деформации на кривых растяжения наблюдались зубцы с амплитудой до 50-70 МПа. Также как и для железа, облученного нейтронами, в области протекания ДДС пластичность облученного материала выше, чем необлученного (рисунок 2б).





200

Рисунок 2. Инженерные диаграммы растяжения (а и б) и температурные зависимости характеристик прочности (в) и пластичности (г) для необлученных (а) и имплантированных гелием (б) образцов армко-железа, испытанных в интервале температур 20-200°С Особый научный интерес представляет анализ амплитуды «зубчиков» и их формы, однако в зависимости от местонахождения «зубчика» на кривой течения (на восходящем или пологом участке) его вид может быть искаженным. Поэтому, исходя из предположения, что «зубчатость» представляет собой колебания нагрузки относительно некоторой кривой  $P=f(\Delta I)$ , проводили аппроксимацию экспериментальных кривых течения, содержащих «зубчаты» участки, различными функциями с использованием метода наименьших квадратов. Затем находили разницу между исходной и аппроксимирующей (или несущей) кривыми. Полученные данные представлены на рисунке 3.

Видно, что при 100°С для необлученного железа имеет место мелкая хаотическая «зубчатость», амплитуда которой нарастает с ростом степени деформации. При достижении предела прочности амплитуда зубцов возрастает вдвое.

Легирование гелием привело к некоторому подавлению эффекта Портевена–Ле Шателье – практически до начала локализованной деформации величина зубцов составляет ~3-5МПа.

Из рисунка 2 видно, что нижний предел текучести  $\sigma_{\rm T}^{\rm H}$  исходного материала в интервале температур 293–473К не претерпевает существенных изменений, а предел прочности несколько увеличивается с ростом температуры испытания, достигая максимального значения при 423К. Для образцов, имплантированных гелием, во всем исследованном температурном интервале предел текучести выше, чем для необлученных. Видно (рисунок 2в), что  $\sigma_{\rm T}^{\rm H}$  имеет некоторую тенденцию к снижению с ростом температуры, а при 423К наблюдается локальный минимум. Предел прочности до 423К изменяется слабо, а при более высоких температурах начинает заметно возрастать.

#### Сталь Ст3 после облучения α-частицами

Ослабление последствий ДДС в облученном материале можно отнести за счет связывания примесных атомов радиационными дефектами и образования комплексов вида «вакансия — атом углерода». Можно ожидать, что с ростом количества примесных атомов будет увеличиваться доза облучения, необходимая для их связывания. В этой связи проведены эксперименты с образцами углеродистой стали Ст3, облученными альфа-частицами до дозы, близкой к ее значеням, используемым при облучении армко-железа. Концентрация азота и углерода в данной стали составляет ~0,2вес%, что в ~ 5раз выше, чем в армко-железе (~0,004вес.%).

На рисунке 4 показаны инженерные диаграммы деформации, кривые, характеризующие «зубчатость» при развитии ДДС, а в таблице 2 приведены значения механических характеристик необлученной и облученной стали Ст3. Как видно из рисунка 4, облучение стали Ст3 α-частицами приводит к исчезновению мелкой хаотической «зубчатости», которая «замещается» более крупными регулярными «зубчиками». Уменьшения «зубчатости» - подавления эффекта ПЛШ, отмеченного для облученного железа, не наблюдается. При этом пластичность облученной стали Ст3 во всем температурном интервале меньше, чем необлученной, в отличие от α-железа. Можно полагать, что для стали Ст3 требуются большие дозы облучения, чтобы связать в комплексы примесные атомы и подавить эффект ПЛШ.



Состояние материала: а) необлученный; б) имплантированный гелием (50МэВ, 1•10-3ат%)

Рисунок 3. «Зубчатость», математически выделенная из диаграмм растяжения образцов армко-железа, необлученного (а) и имплантированного гелием (б), испытанных в интервале температур 20-200°С. Масштаб по оси ординат 1см:25МПа

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ В АРМКО-ЖЕЛЕЗЕ И СТАЛИ СТЗ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ И АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ



Рисунок 4. Диаграммы растяжения (а,в) и математически выделенная из них «зубчатость» (б,г) для образцов стали Ст3, необлучённых (а,б) и имплантированных гелием (в,г). Масштаб по оси ординат на рисунках б и г – 1см:25МПа.

- 1 аолица 2. 1 емпературные изменения механических своиств ооразиов стали Ст5, неоолученных и оолученных Q-частицами
---

T, °C		Без облуч	чения		Облучение α-частицами – 50МэВ					
	σ <sub>0,2</sub>	$\sigma_{B}$	ε <sub>p</sub>	3	σ <sub>0,2</sub>	$\sigma_{B}$	ε <sub>p</sub>	3		
50	455	556	19	24						
100					230	384	17	21		
125	503	706	19	22						
150					428	536	15	17		
175	324	665	16	20	327	445	14	17		
200					344	462	12	16		

## Заключение

Получены новые экспериментальные данные по изменению механических характеристик образцов армко-железа и стали Ст3, облученных альфа-частицами (10<sup>-3</sup> ат.%) и нейтронами до различных повреждающих доз и деформированных в интервале температур 293–473 К.

Экспериментально установлено, что облучение армко-железа нейтронами и α-частицами приводит к уменьшению эффекта охрупчивания в диапазоне температур протекания процессов ДДС. В интервале температур протекания ДДС пластичность облученного железа выше, чем необлученного.

Для стали Ст3, в которой концентрация примесных атомов в  $\sim$ 5 раз выше, чем в железе, аналогичное облучение  $\alpha$ -частицами не приводит к подавлению эффекта ПЛШ.

#### Литература

- 1. Бабич, В.К. Деформационное старение стали / Р.П. Гуль, И.Е. Долженков. М.: Металлургия, 1972. 320 с.
- W. Karlsen. Microstructural manifestation of dynamic strain aging in ANSI 316 stainless steel / W. Karlsen, M. Ivanchenko, U. Ehrnsten, Y. Yagodzinskyy, H. Hanninen // Journal of nuclear materials. 395 (2009). P. 156-161.

- Сакбаев, М.Ж. Динамическое деформационное старение железа и некоторых железохромоникелевых сплавов, подвергнутых радиационному воздействию: автореф. дис...канд. физ-мат наук: 01.04.07 / Сакбаев Максим Жанович – Алматы, 1993. – 22 с.
- 4. Залужный, А.Г. Гелий в реакторных материалах / Ю.Н. Сокурский, В.Н. Тебус. М.: Энергоатомиздат, 1998. 224 с.
- Максимкин, О.П. Аккумуляция и диссипация энергии при деформации железа, облученного альфа–частицами / О.П. Максимкин, М.Н. Гусев // Сб.: Проблемы эволюции открытых систем. – Алматы., 2001. – С. 75-81.

## НЕЙТРОНДАРМЕН ЖӘНЕ АЛЬФА-БӨЛШЕКТЕРМЕН СӘУЛЕЛЕНДІРІЛГЕН АРМКО-ТЕМІР МЕН СТ 3 БОЛАТТА ДИНАМИКАЛЫҚ ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ ЕСКІРУ ҮРДІСТЕРІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

## Максимкин О.П., Гусев М.Н., Токтогулова Д.А.

#### ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Альфа бөлшектермен (10-3 ат.%) және нейтрондармен әртүрлі бүлдіруші дозаларына дейін сәулелендірілген және 293–473К0С температура аралығында деформацияланған армко-темір және Ст3 болат үлгілерінің механикалық сипаттамаларының өзгеруі бойынша жаңа эксперименттік деректер алынды.

Температура ауқымындағы ДДЕ үрдіс өтуінде армко-темірді нейтрондармен және α-бөлшектермен сәулелендіру морттық эффектісінің азаюына әкелетіні табылды.

## FEATURES OF PROCESSES OF DYNAMIC DEFORMATION AGEING IN ARMKO-IRON AND ST3 STEEL OF IRRADIATED BY NEUTRONS AND ALPHA PARTICLES

## O.P. Maksimkin, M.N. Gusev, D.A. Toktogulova

#### Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

New experimental data on change of mechanical characteristics of samples Armko-iron and St3 steels irradiated by alpha particles ( $10^{-3}$  at. %) and neutrons to various damaging doses and deformed in the range of temperatures 293–473 K. It is revealed that the irradiation Armko-iron neutrons and  $\alpha$ -particles leads to reduction of effect of embrittlement in a range of temperatures of behavior of processes of dynamic deformation ageing.

#### УДК 539.21:539.12.04:669.3

## ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ И ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ МЕДИ И СТАЛИ 12Х18Н10Т В УСЛОВИЯХ СЛОЖНО-НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

#### Мережко М.С., Максимкин О.П., Гусев М.Н., Рубан С.В.

#### Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Разработана и усовершенствована методика испытаний на растяжение, сжатие и индентирование радиоактивных миниатюрных образцов и проведены эксперименты по механическим испытаниям стали 12Х18Н10Т и чистой меди на установке «Instron-1195». Предложен метод построения кривых растяжения облученных и необлученных материалов на основании данных, получаемых в ходе экспериментов по вдавливанию сферического индентора. Построены кривые накопления мартенситной α'-фазы в образцах стали 12Х18Н10Т в процессе растяжения и сжатия до и после облучения.

#### Введение

Обеспечение безопасности эксплуатации современных ядерных энергетических установок во многом зависит от механических свойств, применяемых в реакторостроении конструкционных материалов, которые должны обладать к тому же хорошими теплофизическими и коррозионными свойствами. Этими качествами обладают, в частности, аустенитные хромоникелевые нержавеющие стали, которые широко применяются при строительстве атомных реакторов на быстрых нейтронах.

К настоящему времени, для характеризации этих материалов накоплен большой экспериментальный объем данных [1,2], исследовано влияние нейтронного облучения на структуру и параметры прочности и пластичности [3,4]. В то же время подавляющая часть экспериментов выполнена для случая одноосного статического растяжения. Однако, в реальных случаях, для часто используемых малогабаритных высокорадиоактивных образцов этот метод практически не применим. В связи с этим, представляется своевременным и актуальным исследование материалов с использованием таких способов нагружения, как сжатие и индентирование, а также сравнение результатов данных исследований с «классическими» испытаниями на одноосное растяжение.

Цель данной работы – сравнительное исследование деформационно-пластического поведения облученных нейтронами образцов меди и стали 12X18H10T при испытаниях на растяжение, сжатие и индентирование.

#### Материалы и методы исследований

## Исследуемые материалы, форма и размеры образцов

Исследовали нержавеющую хромоникелевую сталь аустенитного класса 12X18H10T — конструкционный материал для ядерных энергетических установок на быстрых нейтронах. Её химический состав, вес. %: Fe – основа, Ni – 10,66, C – 0,12, Ti – 0,6, Cr – 17, Mn – 1,1, прочие элементы – менее 1; дополнительно, в качестве модельного материала, исследовали чистую бескислородную медь (Cu > 99,5%). После термообработки (отжиг при 1050°С, 30 минут для стали и 750°С, 1 час для меди), часть образцов была облучена в активной зоне исследовательского реактора ВВР-К (ИЯФ, Алматы) при температуре не выше 80°С до максимального флюенса – 1,4·10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup> (сталь) и 5·10<sup>20</sup> н/см<sup>2</sup> (медь). Для проведения экспериментов использовали 2 разных типа миниатюрных образцов (рисунок 1) в виде гантелей и цилиндров.



а) на одноосное растяжение; б) на сжатие и индентирование.

Рисунок 1. Форма и геометрические размеры образцов.

Механические испытания на одноосное растяжение, сжатие и индентирование проводились на установке Instron-1195 при постоянной скорости 0,5 мм/мин и температуре 20°С.

#### Одноосное растяжение

Как известно, сталь 12X18H10T является метастабильной, и в ней, в процессе деформации при комнатной температуре индуцируется бездифузионное  $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращение. Так как мартенситная  $\alpha'$ -фаза в стали 12X18H10T обладает ферромагнитными свойствами, то для количественного измерения ее содержания использовали прибор FERITSCOPE MP30. Учет геометрии образца и переход от условных единиц ферромагнитной фазы к объемным процентам мартенситной  $\alpha'$ -фазы выполняли по методу, описанному в [5]. Погрешность в определении  $\alpha'$ -фазы принималась равной 20% от измеряемой величины.

С целью изучения особенностей деформационнопластического поведения, а также получения величин локальных деформаций и напряжений в исследуемых образцах, применяли метод «цифровой маркерной экстензометрии» [6]. При этом замеры ферромагнитной  $\alpha'$ -фазы и фотосъемка образцов производились во время остановки испытательной машины, что позволило синхронизировать кривые накопления  $\alpha'$ -мартенсита и «истинные» кривые пластической деформации.

### Сжатие

В процессе сжатия испытательную машину периодически останавливали и извлекали образец для замеров его геометрических размеров. Для образцов стали 12X18H10T проводились замеры содержания ферромагнитной фазы. Определение габаритных размеров образцов выполняли с использованием микрометра «Sony». «Истинные» кривые пластической деформации были получены с помощью расчетов по формуле, найденной с помощью принципов, изложенных в [7]:

$$\sigma_{cxc} = \frac{F\left(1 - \frac{h_0 - h}{h_0}\right)}{S_0},$$

где F – сила сжатия;  $h_0$  – начальная высота цилиндра; h – высота цилиндра в момент сжатия;  $S_0$  – начальная площадь поперечного сечения. При этом использовали допущение, что в образце доминируют одноосные напряжения сжатия.

### Индентирование

В экспериментах на индентирование, в качестве индентора, использовался калиброванный шарик из карбида титана (TiC) диаметром 1 мм. В процессе испытания машину останавливали и вынимали образец для замеров диаметра полученного на его поверхности отпечатка на инструментальном оптическом микроскопе. Так, как размер плоской поверхности исследуемого образца был небольшим (не превышал 18 мм<sup>2</sup>), каждое новое вдавливание индентора проводилось в ранее полученную лунку. При этом, для снижения погрешности испытания, была использована специально разработанная магнитная фиксационная система позиционирования образца, позволяющая многократно извлекать образец и устанавливать его в прежнее положение с точностью до ±5 микрон.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

#### Механические характеристики

Для каждого исследуемого образца стали и меди были получены экспериментальные кривые «истинные напряжения ( $\sigma$ ) — локальная деформация ( $\epsilon$ )», аналогичные показанным на рисунке 2.



2, 3 – кривые различных участков образца; 1м, 2м, 3м – соответствующие им кривые образования мартенситной α'-фазы

Рисунок 2. Диаграммы растяжения в координатах «истинные напряжения (σ) — локальная деформация (ε)» для различных участков на рабочей зоне необлученного образца стали 12X18H10T

Как видно из рисунка 2, кривые «истинные напряжения — локальная деформация» и кривые образования мартенситной α'-фазы для различных участков образца, в пределах ошибки совпадают.

Результаты механических испытаний, полученные при обработке машинных диаграмм растяжения, приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что в результате облучения предел текучести стали 12Х18Н10Т возрос на ~120%, тогда как предел прочности увеличился не столь значительно (~7-10%). Величина эффекта радиационного охрупчивания для нержавеющей стали достигает 40-50%. Для меди данный эффект выражен еще более сильно. В результате облучения меди, предел текучести возрос более чем в 4 раза, тогда как предел прочности увеличился всего на 30%. Отметим, что пределы текучести этих материалов, найденные в экспериментах на сжатие, после облучения также показывают возрастание (от 286 до 530 МПа для стали и от 21 до 280 МПа для меди).

Таблица 1. Характеристики прочности и пластичности образцов стали 12X18H10T и меди, необлученных и облученных нейтронами (испытания на растяжение)

Материал	Флюенс, н/см <sup>2</sup>	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Равномерная деформация, %	Полная деформация, %
Сталь	0	240	742	41	49,5
Сталь	1,4·10 <sup>19</sup>	520	795	22	29
Чистая медь	0	70	234	26	33.3
Чистая медь	5·10 <sup>20</sup>	290	300	3	10

## Закономерности прямого мартенситного γ→α' перехода в стали 12Х18Н10Т в экспериментах на растяжение и сжатие

Одновременно с диаграммами растяжения для каждого исследуемого стального образца регистрировали кривые изменения содержания  $\alpha'$ -фазы в образцах в координатах «мартенситная  $\alpha'$ -фаза, V $\alpha$  – «истинные» напряжения,  $\sigma$ » и «мартенситная  $\alpha'$ -фаза, V $\alpha$  — за, V $\alpha$  — «истинные» локальные деформации,  $\epsilon$ », (рисунок 4).

Анализируя экспериментальные кривые, представленные на рисунке 4а, можно видеть, что  $\gamma \rightarrow \alpha'$ переход в облученной стали при растяжении начинается раньше по деформации, чем в необлученной. В то же время, при сжатии мартенситное превращение как в необлученных так и в облученных образцах инициируется при практически одинаковых деформациях ~13-14% (рисунок 4б).

Обращает на себя внимание тот факт, что при сжатии и растяжении значения «истинных» критических напряжений, необходимых для начала образования  $\alpha'$ -фазы для облученной стали больше, чем для необлученной. Причем, это различие в случае сжатия значительно больше, чем для растяжения.

По мере увеличения действующих напряжений рост количества  $\alpha'$ -фазы при растяжении и сжатии происходит различным образом. Так, при растяжении кривые «V $\alpha$  —  $\sigma$ » для облученных образцов мало отличаются от аналогичных кривых для необлученной стали. В то же время, при сжатии количество образующейся мартенситной  $\alpha'$ -фазы в облученном образце при одинаковых «истинных» напряжениях значительно меньше, чем в необлученном.

## Восстановление «истинных» кривых растяжения «о — е», с использованием результатов индентирования

В [8] была предложена методика построения диаграмм «истинных» напряжений и локальных деформаций и введена простая зависимость между значениями «истинных» напряжений при растяжении и значениями «средних напряжений», определенных по способу Мейера:

$$\sigma_n = kH_M$$

где  $\sigma_p$  – расчетные «истинные» напряжения при растяжении, *k* – коэффициент, зависящий от материала.



Состояние материала: Синий – без облучения, красный – после облучения нейтронами до флюенса 1,4·10<sup>19</sup> н/см<sup>2</sup>.

Рисунок 4. Кривые образования мартенситной α'-фазы, в координатах «Vα — ε» (a, б) и «Vα — σ» (в, г), при испытаниях на растяжение (a, в) и сжатие (б, г)

В настоящей работе, для расчета «истинных» локальных деформаций при растяжении из экспериментов на индентирование использовали следующую зависимость:

$$\varepsilon_p = A \frac{d}{D}$$

где є<sub>р</sub> – расчетная «истинная» локальная деформация при растяжении, А – коэффициент.

В результате проведенных экспериментов и выполненных расчетов нами были получены диаграммы, представленные на рисунке 5, на котором для сравнения приведены также кривые растяжения этих же материалов. Видно, что в диапазоне деформаций  $\varepsilon = 10-30\%$  кривые « $\sigma$  —  $\varepsilon$ » полученные расчетным путем (из экспериментов на индентирование) и экспериментальных (полученных при растяжении) практически совпадают.

Таким образом, из результатов индентирования можно найти аналитические выражения для описания кривой растяжения в диапазоне  $\varepsilon = 10-30\%$ , а также рассчитать коэффициент и показатель деформационного упрочнения для облученных материалов. То есть, данный метод позволяет восстанавливать диаграммы растяжения и его можно применять в случаях, когда невозможно провести испытание на одноосное растяжение, например, в случаях исследования хрупких, высокооблученных, миниатюрных образцов.



Материал: а — сталь 12Х18Н10Т; б — медь. Состояние: Красный – после нейтронного облучения; синий – без облучения.

Рисунок 5. Кривые растяжения «σ—ε» и участок диаграммы (ε = 10-30%), восстановленный с использованием результатов, полученных в экспериментах на индентирование

## Заключение

MПа

Выполнены механические испытания необлученных и облученных образцов меди и стали 12X18H10T на растяжение, сжатие и индентирование.

Предложена методика восстановления кривых, получаемых при испытаниях на одноосное растяжение с использованием результатов экспериментов по вдавливанию сферического индентора.

Выявлены закономерности образования и накопления α'-фазы в необлученных и облученных нейтронами образцах стали при растяжении и сжатии.

Полученные в экспериментах на сжатие и растяжение кривые деформационного накопления мартенситной α'-фазы позволят в дальнейшем определить кинетические параметры  $\gamma \rightarrow \alpha'$  перехода в облученной нейтронами стали.

## Литературы

- 1. Zhang, L. Magnetic properties of SUS 304 austenitic stainless steel after tensile deformation at elevated temperatures // Journal of Materials Science. - 2005. - №40. - P. 2709-2711.
- Meszaros, I. Magnetic investigation of the effect of  $\alpha$ '-martensite on the properties of austenitic stainless steel / Prohaszka, J // 2 Journal of Materials Processing Technology. - 2005. - № 161. - P. 162-168.
- 3. Ибрагимов, Ш.Ш. Мартенситное превращение и механические свойства нержавеющей стали 12Х18Н10Т, облученной нейтронами / Максимкин, О.П., Садвакасов, Д.Х // ФММ. – 1990. - №7. – С. 3-5.
- Максимкин, О.П. Фазово-структурные процессы и их роль в упрочнении и охрупчивании облученных металлических 4 материалов: автореф. дис. докт. физ.-мат .наук: 01.04.07 // Алматы. - 2001. - 46 с.
- 5. Максимкин, О.П. Параметры образования мартенситной а'-фазы при деформации нержавеющих сталей, облученных в реакторах ВВР-К и БН-350 / Гусев, М.Н., Осипов, И.С. // Вестник НЯЦ РК. – 2007. - №3. – С. 12-17.
- Максимкин, О.П. Деформационная экстензометрия при механических испытаниях высокорадиоактивных металлов и сплавов / Гусев, М.Н., Осипов, И.С. // Вестник НЯЦ РК. – 2005. - №1. – С. 46-52.
- 7. Шапошников, Н.А. Механические испытания материалов. - М.: Машгиз, 1951. - 371с.
- Марковец, М.П Определение механических свойств металлов по твердости. М.: Машиностроение, 1979. 191с.

## КҮРДЕЛІ-КЕРНЕУЛІ КҮЙ ЖАҒДАЙЛАРЫНДА НЕЙТРОНДАРМЕН СӘУЛЕЛЕНДІРІЛГЕН МЫС ЖӘНЕ 12Х18Н10Т БОЛАТТЫҢ ДЕФОРМАЦИЯСЫ МЕН ФАЗА-ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ТҮРЛЕНУІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Мережко М.С., Максимкин О.П., Гусев М.Н., Рубан С.В.

## ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Радиактивті өте кішкене үлгілерді созуға, сығылуға және басып енгізуге сынаулар әдістемесі әзірленді және жетілдірілді және де «Instron-1195» қондырғысында 12Х18Н10Т болат пен таза мыстың механикалық сынаулары бойынша эксперименттер өткізілді. Сфералық инденторды басып енгізу бойынша эксперименттер барысында алынатын деректер негізінде, сәулелендірілген және сәулелендірілмеген материалдардың созылу қисықтарын салу әдісі ұсынылған. Сәулелендіруге дейін және одан кейін созу және сығылу үрдісінде 12Х18Н10Т болат үлгілерінде мартенситтік α'-фазаның жиналуларының қисығы салынған.

## FEATURES OF COPPER AND 12CR18NI10TI STEEL DEFORMATION AND STRUCTURE-PHASE TRANSFORMATIONS IN COMBINED STRESS CONDITIONS AFTER NEUTRON IRRADIATION

## M.S. Merezhko, O.P. Maksimkin, M.N. Gusev, S.V. Ruban

#### Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

The technique for tensile, compression and indentation tests was developed and experiments with samples of 12Cr18Ni10Ti steel and pure copper on apparatus «Instron-1195» was conducted. The method of restoration curves received at uniaxial tension tests of irradiated and non irradiated materials using spherical indenter indentation results was offered. The curves of martensite  $\alpha'$ -phase accumulation in tensile and compression tests samples of 12Cr18Ni10Ti steel before and after an irradiation were constructed.

## УДК 621.039.52.034.6

## ОПРЕСНИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С КОНТАКТНЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ

#### Котов В.М., Бакланова Ю.Ю., Витюк Г.А.

#### Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Данная работа проводится в рамках научно-исследовательского проекта, координируемого МАГАТЭ, "Демонстрирование процесса опреснения морской воды на ядерных установках", раздел «Инновационные методы опреснения морской воды на ядерных установках».

Существующие на сегодняшний день известные инженерные решения в области опреснения соленой воды имеют ряд недостатков, ограничивающих их практическое применение.

В настоящей работе предлагается техническое решение опреснительной установки, обеспечивающее возможность:

- снижения затрат удельного энергопотребления при получении опресненной воды в сравнении с известными современными проектами;
- расширения спектра практического применения установки.
- повышения надежности в процессах контроля и управления производством.

#### Введение

В настоящее время, ввиду глобального дефицита пресной воды в мире, в том числе и в Казахстане, в разработках эффективных опреснительных установок активное участие принимают предприятия атомной отрасли ряда стран.

Распространенными решениями на сегодняшний день можно назвать схему многокорпусных выпарных установок с последовательным включением, хорошо известны установки с пароструйными компрессорами и с механическим сжатием вторичного пара, а также малорасходные - на основе молекулярных фильтров. Каждая из них, наряду с достоинствами, имеет ряд недостатков, ограничивающих их практическое применение.

В отношении предлагаемой конструкции опреснительной установки, можно сказать, что ограничения в ее практическом применении будут отсутствовать, она может использоваться для ряда объектов, отличающихся как конечными продуктами (питьевая вода, пищевые продукты), так и источниками тепловой энергии (атомная, солнечная, органическое топливо).

Целью работы является разработка схемы опреснительной установки, обеспечивающей снижение затрат энергии на получение единичного объема опресненной воды в сравнении с известными современными проектами.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ особенностей современных проектов опреснительных установок;
- разработана схема установки с контактным теплообменником;
- проведены теплогидравлические расчеты в обоснование работоспособности предлагаемой схемы установки;

 определена степень эффективности установки с контактным теплообменником в сравнении с известными современными проектами.

Данная работа проводится в рамках научно-исследовательского проекта, координируемого МАГАТЭ, "Демонстрирование процесса опреснения морской воды на ядерных установках", раздел «Инновационные методы опреснения морской воды на ядерных установках».

## 1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ КОНТАКТНЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ

В современных опреснительных установках, в основном, используется схема многокорпусных выпарных аппаратов с последовательным включением, также хорошо известны установки с пароструйными компрессорами и с механическим сжатием вторичного пара.

В выпарных установках любого типа основным параметром, определяющим их экономику, является перепад температур между греющим паром и испаряемой водой. Чем он меньше, тем меньшие затраты на получение конечного продукта могут быть достигнуты.

Можно отметить, что в многокорпусных установках снижение перепада температур ведет к росту числа корпусов, следовательно, усложнению конструкции и сложностям в управлении ее работой. Практическое применение пароструйного компрессора и процесса механического сжатия вторичного пара в опреснительных установка целесообразно при температурной депрессии не более 10 – 12°С и минимальном перепаде температур между рабочими телами.

Основной идеей предлагаемого технического решения является использование контактного теплообменника, в котором передача тепла от греющего пара к испаряемой воде осуществляется при прямом контакте компонентов при их противоточном движении в теплообменнике. В этом случае температурный перепад между греющим паром и выпариваемой водой сводится к минимуму, т.к будут отсутствовать температурные потери при теплопередаче от пара к стенке, через стенку, и от стенки к воде (рисунок 1).

Определяющими процессами в этом случае будут теплопередача от пара к поверхности капли и температурная депрессия. В целом перепад температур может быть снижен до величин не достижимых в конструкциях с промежуточной стенкой между паром и водой.

Предлагаемая схема опреснительной установки включает в себя три рекуператора, испаритель – контактный теплообменник, циркуляционный насос, компрессор и связывающие их магистрали (рисунок 2).



Рисунок 1. Виды теплообмена между греющим паром и испаряемой водой



Рисунок 2. Схема дистилляционной установки

Основным агрегатом является контактный теплообменник. Исходная вода подается на распыляющую решетку (инжектор) в его верхней части. Капли воды падают вниз. Снизу в контактный теплообменник подается греющий пар. Вода подается с температурой близкой к температуре кипения при рабочем давлении в полости теплообменника, а пар с температурой превышающей эту температуру кипения. Проходя теплообменник сверху вниз, капли воды теряют часть своей массы, которая превращается в пар. А греющий пар, проходя снизу вверх, теряет свою температуру, но имеет прирост в массе. После выхода из испарителя, поток пара разделяется на два потока - пар, по количеству соответствующий первичному пару подается в циркуляционный насос и пар, который может считаться вторичным, подается в компрессор. Затем эти потоки встречаются в противоточном рекуперативном теплообменнике 1. В циркуляционном насосе производится восполнение потерь давления первичного пара в контуре. В компрессоре вторичный пар подвергается адиабатическому сжатию, его температура растет и растет температура фазового перехода «пар-вода». Поэтому, основной поток тепла в рекуператоре 1 идет за счет перехода сжатого пара в воду. Рекуператоры 2 и 3 обеспечивают передачу тепла от горячих вод (соленой и чистой) к исходной воде.

Следует отметить, что в предлагаемой схеме опреснения соленой воды исключена возможность отложения коррозийных солевых осадков в узлах установки, что увеличивает срок службы оборудования.

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В подтверждение работоспособности опреснительной установки с контактным теплообменником были проведены теплофизические и гидравлические расчеты. Для достижения максимальной точности в расчетах и увеличения скорости получения результатов была разработана программа "ОУКТ" в QBasic. При определении таких параметров воды и водяного пара как плотность, температура кипения, теплота парообразования и динамическая вязкость использовались справочные данные из [1] в рабочем диапазоне давлений, аппроксимированные полиномом пятой степени.

Исходные параметры, используемые при проведении расчетов модели опреснительной установки, были следующие:

- мощность контактного теплообменника, равная Q = 30 кВт и 30 МВт;
- давление в полости испарителя P = от 0,03 до 0,1 МПа;
- доля испаряемой воды составляет p = 25%.

По известной тепловой мощности и выбранному давлению в контактном теплообменнике определялись входные и выходные параметры рабочих тел: температура и расход пара и воды, а также производительность установки и габариты контактного теплообменника. Используя полученные данные, рассчитывались рабочие характеристики рекуператоров, циркуляционного насоса и компрессора. Об удельном энергопотреблении установки можно судить по электрической мощности насоса и компрессора, отнесенным к 1 кг опресненной воды. Проведенный анализ известных современных проектов опреснительных установок поможет определить конкурентоспособность предлагаемого технического решения.

## **3.** ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С КОНТАКТНЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ

Количество теплоты, необходимое для нагревания или охлаждения какого-либо вещества определяется формулой [2]:

$$Q = G_{B1} \cdot R \cdot p \tag{1}$$

где Q – мощность испарителя, кВт;  $G_{BI}$  – расход раствора соленой воды, кг/с; R – удельная теплота парообразования, Дж/кг; p – доля испаренного вещества (в нашем случае это 25% от расхода морской воды).

Из уравнения (1) найдем расход морской воды в испарителе.

Расход выпаренной воды, другими словами, производительность испарителя, определяется из уравнения материального баланса выпаривания, которое без учета потерь, имеет вид [2]:

$$W = G_{_{Hay}} - G_{_{KOH}} = G_{_{Hay}} \left( 1 - \frac{b_{_{Hay}}}{b_{_{KOH}}} \right)$$

где  $G_{\mu a \gamma}$  и  $G_{\kappa o \mu}$  - начальный и конечный массовые расходы раствора соленой воды, кг/с;  $b_{\mu a \gamma}$  и  $b_{\kappa o \mu}$  – начальная и конечная массовые концентрации раствора в процентах от общей массы. Принимаем, что начальная концентрация соли была 3,4% (морская вода), после испарения 25% воды из раствора, эта доля составит 4,6%.

Уравнение теплового баланса в системе контактного теплообменника будет иметь вид:

$$G_{_{Ha^{\prime}}}C_{_{1}}t_{1}+G_{_{\Pi}1}i_{_{\Pi}1}=G_{_{KOH}}C_{_{2}}t_{_{2}}+Wi_{_{6}}+G_{_{\Pi}1}t_{_{\Pi}2}C_{_{\Pi}}+Q_{_{n}}(2)$$

где  $C_1$  - теплоемкость раствора до выпаривания воды, кДж/кг.°С;  $t_1$  - начальная температура раствора, °С;  $G_{\Pi l}$  - расход греющего пара, кг/с;  $i_{\Pi}$  - энтальпия греющего пара, кДж/кг;  $C_2$  - теплоемкость концентрированного раствора, кДж/кг.°С;  $t_2$  - температура кипения раствора, °С;  $i_8$  - энтальпия вторичного пара (испаренной воды), кДж/кг;  $t_{\Pi 2}$  - температура пара на выходе из теплообменника, °С;  $Q_n$  - тепловые потери, принятые равными 5%.

Если раствор нагрет до температуры кипения, как в нашем случае, то из уравнения (2) расход греющего пара определяется выражением:

$$G_{\Pi 1} = \frac{W \cdot R}{(i_{\Pi 1} - t_{\Pi 2} C_{\Pi})\eta}$$

где *η* – эффективность теплообменника.

Температура пара на выходе из теплообменника будет ниже его первоначальной температуры на величину ∆t, которую он потеряет вследствие теплопередачи к поверхности капель раствора соленой воды. Эта величина определялась с учетом физико-химической, гидростатической и гидравлической депрессии из выражения:

$$\Delta t = \Delta t_{r\phi} + \Delta t_{rc} + \Delta t_{r}$$

Зная общее количество образующегося внутри теплообменника вторичного пара и объем греющего (первичного) пара, а также давление, при котором происходит процесс теплообмена, можно найти объем, занимаемый паром из формулы Менделеева-Клайперона [2]:

$$V_T = \frac{m_{\Pi} \cdot R \cdot T_{\Pi 2}}{M \cdot P}$$

где  $m_{BII}$  – масса пара, складывающаяся из массы испаренной воды и массы греющего пара; M - молярная масса пара, для воды и водяного пара, равная 0,01802 кг/моль; R - универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/моль-К.

Зная объем контактного теплообменника и приняв рекомендуемое в [2] отношение диаметра и высоты испарителя как 1÷2,5, можно определить диаметр цилиндрического теплообменника.

Средний расчетный размер капель при распылении определяется давлением жидкости перед инжектором, поэтому на данном этапе расчетов он задается. Согласно Н. Фресслингу и Л. С. Лейбензону, скорость испарения падающих капель выражается уравнением [2]:

$$\frac{dr}{d\tau} = \frac{D \cdot m_{H_2O}}{\rho_B \cdot k \cdot T_{B1} \cdot r_\kappa} (e - E_{IIB}) C_R \cdot C_F \tag{3}$$

где D – коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $m_{H2O}$  – масса молекулы воды, равная 2,99·10<sup>-26</sup>, кг;  $\rho_B$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>; k – постоянная Больцмана, равная 1,38·10<sup>-23</sup>, Дж/К;  $T_{B1}$  – температура капли, К;  $r_{\kappa}$  – радиус капли, м; e – парциальное давление водяного пара, Па;  $E_{\Pi B}$  – давление насыщения над каплей радиусом  $r_{\kappa}$ , Па;  $C_R$  – поправка на размер капли;  $C_F$  – ветровой множитель.

В результате интегрирования уравнения (3) получим выражение, из которого найдем время, необходимое на испарение капли 25%, и, определив скорость капли заданного диаметра с учетом противотока, рассчитывается высота установки водяного инжектора.

На выходе из контактного теплообменника первичный пар подается в циркуляционный насос, в котором производится восполнение потерь давления пара в циркуляционном контуре. При этом работа, совершенная насосом может быть рассчитана как [3]:

$$Q = A = \frac{m \cdot R \cdot T}{M} \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$$

где *m*– масса пара, поступающего в насос за секунду, в нашем случае, это расход первичного пара  $(G_{III})$ , кг/с; *R* - универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/моль-К; *M* – молярная масса пара, 0,01802 кг/моль; *T* – температура пара на выходе из контактного теплообменника (или  $T_{II2}$ ), К;  $P_I$  – давление на входе в насос, Па;  $P_2$  – давление на выходе из насоса, Па.

Потеря давления в трубопроводе при ламинарном движении теплоносителя может быть рассчитана из выражения:

$$P_1 - P_2 = \frac{128 \cdot G_{\Pi 1} \cdot \mu \cdot l}{\pi d^4} \tag{4}$$

где d - внутренний диаметр трубы, м;  $\mu$  - динамический коэффициент вязкости пара, Па·с; l – длина трубопровода, м.

По известному расходу первичного пара и объему испарителя определяется парциальное давление, которое создает первичный пар в контактном теплообменнике:

$$P_2 = P_{\Pi 1} = \frac{G_{\Pi 1} \cdot R \cdot T}{M \cdot V}$$

Компрессор обеспечивает такое повышение давления вторичного пара, которое повышает его тепловой потенциал до величины, соответствующей нагреву циркуляционного пара от его минимальной температуры в контуре до максимальной. Т.е. поступая в компрессор, испаренная вода подвергается адиабатическому сжатию для достижения температуры, которой будет достаточно для нагрева в рекуператоре 2 циркуляционного пара до температуры греющего пара. При определении параметров компрессора учитываются температурные потери, которые возможны в рекуператоре 2. Работа при адиабатном процессе может быть выражена:

$$A = -\Delta U = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT_1}{y - 1} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{y - 1} \right]$$

Мощность (кВт) электродвигателя для циркуляционного насоса определяется по формуле:

$$N_{_{H}} = k_{_{3}} \frac{G_{_{\Pi}} \cdot P}{\eta_{_{Hac}} \cdot \eta_{_{\Pi}}} \cdot 10^{-3}$$

где  $k_{3^-}$  коэффициент запаса, принимаемый 1,1-1,3 в зависимости от мощности электродвигателя;  $G_{\Pi^-}$  подача (производительность) насоса, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_{наc}$ - КПД насоса (для центробежного с давлением свыше 0,4×10<sup>5</sup> Па 0,6-0,75, с давлением до 0,4×10<sup>5</sup> Па 0,45-0,6);  $\eta_{n^-}$  КПД передачи, равный 0,9-0,95; P- давление, развиваемое насосом, Па.

Мощность (кВт) электродвигателя для компрессора рассчитывается по аналогичной формуле:

$$N_{\kappa} = k_{3} \frac{W \cdot A}{\eta_{K} \cdot \eta_{\Pi}} \cdot 10^{-3}$$

где W - подача (производительность) компрессора, м<sup>3</sup>/с; A – работа адиабатического сжатия 1 м<sup>3</sup> атмосферного воздуха давлением p1=1,1×10<sup>5</sup> Па до требуемого давления p2, Дж/м<sup>3</sup>; для давлений до 10×10<sup>5</sup> Па;  $\eta_{\kappa}$  - индикаторный КПД компрессора, равный 0,6-0,8;  $k_3$  - коэффициент запаса, равный 1,05-1,15.

В рекуператорах опреснительной установки производится теплообмен между такими рабочими телами как: первичным и вторичным паром (в рекуператоре 1), частью исходного раствора соленой воды и концентрированным раствором, поступающим из контактного теплообменника (в рекуператоре 2) и частью исходного раствора соленой воды и опресненной водой, поступающей из рекуператора 1 (в рекуператоре 3).

Тепловая мощность рекуператора 1 определялась из уравнения теплового баланса для всей поверхности теплообмена:

$$Q_{1} = G_{\Pi 1} \cdot C_{p\Pi} \cdot (T_{\Pi 1} - T_{\Pi 2}) = W \cdot C_{pB} \cdot (T_{\Pi 3} - T_{\Pi 4})$$
(5)

где  $T_{\Pi 1} u T_{\Pi 2}$  – температура первичного пара на входе и выходе из рекуператора 1, К; W – расход греющего вторичного пара (производительность установки), кг/с;  $T_{\Pi 4}$  – температура сконденсированного вторичного пара в рекуператоре 1, К.

Из уравнения (5) определяется и температура воды, полученной при конденсации вторичного пара в рекуператоре 1:

$$T_{\Pi 3} - T_{\Pi 4} = \frac{Q_1}{W \cdot C_{pB}} \tag{6}$$

Расходы исходного раствора соленой воды через рекуператоры 2 и 3 принимались в том же отношении, что и расходы концентрированного соленого раствора и опресненной воды. Определение тепловой мощности и температур рабочих тел для рекуператоров 2 и 3 проводилось по адаптированным к их рабочим характеристикам формулам (5) и (6).

Полученные, в результате проведенных расчетов, параметры опреснительной установки приведены в таблице 1.

На основании полученных данных можно сказать о том, что:

- удалось провести сопряжение характеристик движения капель с геометрией испарителя. Это видно из того, что необходимая высота инжектора для испарения заданной доли капель хорошо согласуются с габаритами испарителя;
- показана осуществимость процесса теплопередачи в рекуператорах для получения необходимых температур рабочих тел на выходе из них;
- определена производительность установки и мощность циркуляционного насоса и компрессора;
- расчет при выбранном давлении, но при тепловой мощности испарителя уже в 30 МВт показал осуществимость предлагаемого процесса и при высоком производстве пресной воды.

# 4. Сравнение технических характеристик опреснительных установок

Для оценки удельных энергозатрат расчетной модели опреснительной установки было проведено сравнение ее технических характеристик с характеристиками высокопроизводительных современных проектов, это:

• обратноосмотическая опреснительная установка типа "ПРО" предназначенная для получения питьевой воды из морской в судовых условиях вне акватории портов. Подобные установки могут применяться и на стационарных береговых объектах для получения питьевой воды из морской или подземной минерализованной;

• ядерный опреснительный энергетический комплекс на плавучей базе с свинцово-висмутовым быстрым реактором (ЯОЭК с СВБР-75/100), являющийся самой экономически эффективной на сегодняшний день многокорпусной установкой в России.

В таблице 2 приведены сравнительные характеристики приведенных выше опреснительных установок.

Использованы данные 2005-2010 года [5,6]. Как видно из таблицы, затраты на получение конечного продукта по предлагаемой технологии являются минимальными.

Таблица 1. Технические характеристики опреснительной установки с контактным теплообменником [4]

Параметры установки/Давление	30кВт/ 0,3 атм	30 кВт/ 0,7 атм	30 кВт/ 1 атм	30 МВт/ 0,7 атм
Габариты испарителя H×D, м	1,7×0,6	1,3×0,5	1,2×0,5	8,4×3,4
Высота инжектора, м	1,18	0,95	0,90	7,6
Производительность, т/сут	1,15	1,18	1,19	1183,68
Мощность цирк. насоса, кВт	0,05	0,01	0,006	0,045
Мощность компрессора, кВт	0,37	0,38	0,39	215,8
Температура теплоотдающего компонента и нагреваемого на выходе из рекуператора 1, С	59/79	77/98	87/108	92/98
Температура теплоотдающего компонента и нагреваемого на выходе из рекуператора 2, С	21/71	20/90	21/100	23/90
Температура теплоотдающего компонента и нагреваемого на выходе из рекуператора 3, С	20/71	19/90	20/100	22/90

Габлица 2.	Сравнительные	характеристики	опреснительных установок
------------	---------------	----------------	--------------------------

Наименование установки	Производительность, т/сут	Потребляемая мощность, кВт	Удельные энергозатраты кВт⋅ч/кг	Тип
ПРО-50	50	32	0,015	Обратноосмотическая
ЯОЭК с СВБР-75/100	200000	101500	0,012	Многокорпусная
Установка с контактным теплообменником	1183	332	0,006	

## Заключение

Проведенная работа показала, что конструкция опреснительной установки с контактным теплообменником позволит:

- минимизировать удельное энергопотребление опреснительной установки по сравнению с известными решениями высокопроизводительных установок;
- упростить процессы контроля и управления при производстве;
- реализовать технологический процесс опреснения воды для ряда объектов, отличающихся как конечными продуктами (питьевая вода, пищевые продукты), так и источниками тепловой энергии (атомная, солнечная, органическое топливо);
- снизить эксплуатационные расходы за счет исключения участков с образованием солевых отложений в узлах оборудования.

Это позволяет сделать вывод о том, что предложенное техническое решение может считаться вполне конкурентоспособным на мировом рынке.

## Литература

- 1. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. М., Наука, 1972. 720 с.
- 2. Григорьев, В.А. Справочник. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. М., Энергоатомиздат, 1983. 551 с.
- 3. Рабинович, Е.З. Гидравлика / Е.З. Рабинович. М., Физматгиз, 1963. 408 с.
- 4. Параметры опреснительной установки с контактным теплообменником: техническая справка / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК, рук. В.М. Котов – Курчатов, 2010. - 13 с. - № 11-220-01/ вн 3.
- 5. Драгунов, Ю.Г. Береговой ядерный опреснительный энергетический комплекс на основе транспортабельного реакторного блока с СВБР-75/100 / Драгунов Ю.Г. [и др.] // Атомная энергия. 2005. Т.99, вып. 6. С 425 432.
- Опреснительные установки "ПРО" [Электронный ресурс] / ЗАО "ЦНИИ судового машиностроения" СПб, 2010. -Режим доступа: http://www.sudmash.ru/produce/sudmash/water-treatment/desalination-plants/pro.html, свободный. -Опреснительные установки "ПРО".

## ЖАНАСУ ЖЫЛУАЛМАСТЫРҒЫШЫ БАР АЩЫЛАРДЫРУ ҚОНДЫРҒЫСЫ

#### Котов В.М., Бакланова Ю.Ю., Витюк Г.А.

#### ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Бүгінгі таңда белгілі, тұщы суды ащыландыру бойынша инженерлік шешімдердің практикалық қолданысын шектейтін бірқатар кемшіліктері бар.

Берілген жұмыста, теңіз суын ащыландыру қондырғысы бойынша табылған техникалық шешімнің келесі мүмкіндіктері көрсетіледі:

- белгілі жобалармен салыстырғанда, суды ащыландыруға кететін меншікті энерготұтыну шығындарының төмендеуі;
- қондырғының өндірістік тұрғыда қолданысының кеңеюі;
- өндірісті бақылау мен басқару үрдісінің (процесінің) сенімділігінің артуы.

## DISTILLATION PLANT WITH CONTACT HEAT-EXCHANGER

#### V.M. Kotov, Yu.Yu. Baklanova, G.A. Vityuk

#### Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The given effort is performed within the framework of Research Project "Demonstration of the process of sea water desalination at nuclear installations" coordinated by IAEA in section "Innovative methods of sea water desalination at nuclear installations".

Existing well-known engineering solutions in the field of desalination of salt water have a number of shortcomings that limit their practical application.

- In this effort we propose a technical solution to the desalination plant that provides an opportunity to:
- reduce the cost of specific power consumption when receiving desalinated water in comparison with the updating projects;
- expanding the range of practical application installation.
- improve the reliability of the monitoring process and production management.

#### УДК 577.4:615.849:504.064:539.16:622.258.4

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ШТОЛЬНЯХ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»

#### Мустафина Е.В., Лукашенко С.Н., Осинцев А.Ю., Брянцева Н.В.

#### Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты расчетов индивидуальных доз персонала при проведении работ по созданию дополнительной защиты инженерных сооружений на штольнях площадки «Дегелен». Определены основные факторы, влияющие на формирование индивидуальных доз при проведении работ по сооружению дополнительной инженерной защиты, проведен расчет дозовых нагрузок на персонал от внешних источников ионизирующего излучения и вследствие ингаляционного поступления радионуклидов, разработаны рекомендации по оптимизации обеспечения радиационной безопасности при проведении работ по сооружению дополнительной инженерной защиты.

#### Введение

С 2005 г. на территории СИП проводятся работы по созданию дополнительной защиты инженерных сооружений на штольнях площадки «Дегелен». Данные работы проводятся на трехсторонней основе Российская Федерация – Республика Казахстан – США. Проведение работ по сооружению дополнительной защиты на объектах может привести к повышенным дозам облучения персонала и вероятностью загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами.

Специалистами ИРБЭ НЯЦ РК обеспечивали функционирование системы радиационной безопасности, включающей в себя предварительное радиационное обследование, обеспечение радиационной безопасности при проведении работ, заключительное обследование по окончанию работ. Основные цели системы обеспечения радиационной безопасности – оценка влияния проведенных работ на окружающую среду и предотвращение переоблучения задействованного в работах персонала.

Обобщенным критерием эффективности мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала являются дозы профессионального облучения [1]. Дозиметрическая информация после обработки и обобщения становится исходным материалом для оценки эффективности всей системы радиационной безопасности и служит основой для разработки практических рекомендаций по улучшению радиационных условий труда персонала. Целью полной оценки индивидуальных доз и их контроля является получение информации для оптимизации защиты и демонстрации не превышения дозовых пределов.

# Методы создания дополнительной инженерной защиты

Штольня – это горизонтальная выработка в горной породе, площадью ~7 м<sup>2</sup> и протяженность до 2 км. Для снижения угрозы распространения отходов ядерной деятельности (ОЯД) на объектах создается дополнительная защита, основанная на заполнении полостей штольни связующим материалом, исключающим возможность несанкционированного извлечения ОЯД. Создание дополнительной защиты в зависимости от исходных данных к заданию на проектирование осуществляется двумя методами:

- создание дополнительной инженерной защиты через вертикальные скважины, пробуренные с поверхности горного массива – вертикальный метод;
- создание дополнительной инженерной защиты посредством вскрытия портала сооружения и последующей горной выработки штолен – горизонтальный метод.

При создании дополнительной инженерной защиты штолен в зависимости от выбранного метода работ проводится комплекс мероприятий (не связанных с обеспечением радиационной безопасности).

#### Вертикальный метод

Сооружение дополнительной инженерной защиты вертикальным методом включает следующие основные этапы - подготовительные работы; бурение поисковых скважин в полость штольни; создание дополнительной инженерной защиты через вертикальные скважины. Время работ на штольнях при сооружении дополнительной инженерной защиты на штольнях вертикальным методом варьировалось от 1,5 до 3 месяцев.

#### Горизонтальный метод

Сооружение дополнительной инженерной защиты горизонтальным методом включает следующие основные этапы - подготовительные работы; вскрытие портала штольни и расчистка полости штольни от обрушений и завалов; удаление бетонных «пробок» и забивок; создание дополнительной инженерной защиты; закрытие объекта, путем восстановления пробок и закрытие портала. Время работ на штольнях при сооружении дополнительной инженерной защиты на штольнях горизонтальным методом варьировалось от 3,5 до 5 месяцев. В зависимости от метода создания дополнительной защиты штольням было присвоено условные обозначения:

- с горизонтальным методом создания дополнительной защиты Г1, Г2, Г3, Г4;
- с вертикальным методом создания дополнительной защиты – B1, B2, B3, B4, B5.

## РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА МЕСТЕ ВЕДЕНИЯ РАБОТ

При проведении работ по созданию дополнительной защиты инженерных сооружений на штольнях площадки «Дегелен» проводилось постоянный контроль радиационный основных параметров (таблица 1).

Успорное				отность	3	3004		POA		Обт	ьемная а	активно	СТЬ	
обозначение	МЭД, мкЗв/ч		потока β-частиц, част/мин∙см²		<sup>222</sup> Rn, Бк/м <sup>3</sup>		<sup>220</sup> Rn, Бк/м <sup>3</sup>		<sup>241</sup> Am, Бк/м <sup>3</sup>		<sup>137</sup> Cs, Бк/м <sup>3</sup>		<sup>3</sup> Н, Бк/м <sup>3</sup>	
штольни	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Г1	0,14	50	<10	4E+04	<4	1E+04	<8	4E+03	<6E-07	8E-02	<2E-05	1E-02	<5E-02	4E+01
Г2	0,19	2,7	<10	3E+02	<4	4E+03	<8	4E+03	<8E-06	<5E-03	<6E-05	<8E-03	<3E-01	2E+01
Г3	0,12	3,98	<10	2E+02	<4	4E+04	<8	5E+02	2E-05	6E-03	<9E-06	4E-01	<1E-01	7E+01
Г4	0,16	16	<10	2E+04	<4	3E+02	<8	2E+01	<2E-05	<3E-02	<3E-06	<3E-01	<1E-02	8E+00
B1	0,12	0,30	<10	1E+01	<4	1E+03	<8	-	7E-05	<7E-04	<8E-05	<9E-03	<1E-01	3E+01
B2	0,15	0,30	<10	2E+01	<4	1E+02	<8	-	<2E-03	<5E-03	<8E-03	<1E-02	<5E-01	5E+00
B3	0,10	0,18	<10	1E+01	<4	1E+02	<8	2E+01	<4E-05	<5E-04	<2E-04	<6E-03	<5E-02	8E-01
B4	0,17	0,34	<10	6E+01	<4	2E+02	<8	-	<3E-05	<2E-03	<5E-05	<8E-03	<1E-01	4E+00
B5	0,18	0,20	<10	1E+01	<4	4E+01	<8	-	<1E-07	3E-03	<3E-07	<5E-03	<7E-03	7E-02

## Таблица 1. Данные по радиационной обстановке на месте ведения работ

Результаты измерений радиационных параметров на месте ведения работ показывают, что штольни с горизонтальным методом создания дополнительной защиты характеризуются более высокими значениями контролируемых радиационных параметров.

## Основные факторы, влияющие

## НА ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗ

Эффективная доза при проведении работ на исследуемых штольнях включает дозу внешнего облучения и дозу внутреннего облучения от поступления радионуклидов. Согласно исходным данным можно считать, что в настоящее время возможными источниками радиоактивного загрязнения штолен площадки «Дегелен» являются осколки деления <sup>239</sup>Ри остатки делящегося вещества и продукты активации [2].

Расчетные данные вероятной удельной активности позволяют предположить, что в результате возможного выхода радионуклидов из штольни на поверхность территория штольни и прилегающих участков может быть загрязнена в значимых концентрациях следующими основными радионуклидами:

- осколки деления <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Y, <sup>121</sup>Sn-m, <sup>137</sup>Ba-m, <sup>151</sup>Sm, <sup>155</sup>Eu, <sup>99</sup>Tc, <sup>137</sup>Cs;
- остатки делящегося вещества <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu, <sup>241</sup>Pu, <sup>242</sup>Pu, <sup>241</sup>Am;
- продукты активации <sup>60</sup>Co, <sup>152</sup>Eu.

#### Влияющие факторы на формирование доз от внешних источников ионизирующего излучения

В формировании доз от внешних ИИИ участвуют природные радионуклиды в почве и в скальных породах, дочерние продукты распада природного радона в атмосфере, радионуклиды искусственного происхождения в почве и в скальных породах [3]. В условиях работ на штольнях площадки «Дегелен» все перечисленные радионуклиды будут вносить вклад в формирование дозы от внешнего облучения, но основное влияние будут оказывать <sup>90</sup>Sr, <sup>90</sup>Y, <sup>137</sup>Cs, <sup>137</sup>mBa.

## Влияющие факторы на формирование доз при внутреннем облучении

Внутреннее облучение, особенно от альфа- и бета-излучающих радионуклидов, представляет гораздо большую биологическую опасность, чем при внешнем. Оно формируется за счет поступления радионуклидов в организм и последующего их удержания в органах и тканях в течение периода, обусловленного способностью данного радионуклида удерживаться в организме и выводиться из него [4]. Так, например, период полувыведения <sup>137</sup>Cs составляет около 70 суток, <sup>241</sup>Am – около 50 лет, трития из свободной воды организма – порядка 10 суток [5].

При проведении работ на штольнях, с учетом соблюдения мероприятий по обеспечению радиационной безопасности, исключается поступление радионуклидов пероральным путем, следовательно, основным путем формирования дозы внутреннего облучения является ингаляционное поступление радионуклидов.

Механизм формирования дозы внутреннего облучения будет зависеть от концентраций данных радионуклидов в воздухе, использования средств защиты органов дыхания. Учитывая дозовые коэффициенты для всех основных радионуклидов, загрязнение которыми возможно в данных условиях, при равных объемных активностях в воздухе, следовательно, основное влияние на дозу окажут изотопы Pu, <sup>241</sup> Am, <sup>90</sup>Sr. Так же при расчетах доз от ингаляционного поступления необходимо учитывать влияние радона и его продуктов распада.

#### МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ДОЗ

В связи с тем, что делящихся ядерных материалов на штольнях в значимых количествах не выявлено нейтронное облучение в расчете доз не учитывалось. Общая суммарная эффективная доза (в условиях работ на штольнях площадки «Дегелен») определена как сумма следующих составляющих [6]:

$$E = E_{\gamma} + E_{\beta} + \sum E_{\mathcal{A}\Pi P} + \sum E_{i(unr)} , \qquad (1)$$

где  $E_{\gamma}$  - доза внешнего  $\gamma$ -излучения;  $E_{\beta}$  - доза внешнего  $\beta$ -излучения;  $E_{i(me)}$  - ожидаемая доза от поступления в организм i-го радионуклида через органы дыхания (кроме дочерних продуктов распада радона и торона);  $E_{ДПP}$  - доза от поступления в организм дочерних продуктов распада радона и торона.

При расчете доз использовался консервативный подход.

## Методология расчета доз от внешних источников ионизирующего излучения

Расчет доз от внешних источников ү-излучения проводился по результатам измерений мощности эквивалентной дозы (МЭД) на месте ведения работ и в полевом лагере с учетом времени нахождения [6]:

$$E_{\gamma} = P_{\gamma} \cdot t \cdot K_{un}, \qquad (2)$$

где  $P_{\gamma}$  - измеренная мощность эквивалентной дозы гамма-излучения; t - время облучения;  $K_{un}$  - поправка на ослабление гамма-излучения в теле человека, учитывающая неравномерность облучения различных органов.

Расчет эффективных доз от внешних источников β-излучения проводился по результатам измерений плотность потока β-частиц на месте ведения работ и в полевом лагере с учетом времени нахождения [6]:

$$E_{\beta} = H_{\beta} \cdot W_t \cdot K_o, \qquad (3)$$

где  $H_{\beta} = P_{\beta} \cdot t_{o\delta \pi}$  - эквивалентная доза бета излучения;  $P_{\beta}$  - мощности эквивалентной дозы бета-излучения;  $t_{o\delta \pi}$  - время облучения;  $W_t = 0.01$  - взвешивающий коэффициент для кожи;  $K_o = 0.5$  - коэффициент ослабления бета - излучения одеждой.

Расчёт мощности эквивалентной дозы бета-излучения ведётся по формуле:

$$P_{\beta i} = \sum N_{\beta E i} \cdot e_{\beta E i} \cdot \exp -\mu_B \cdot d \quad . \tag{4}$$

где  $N_{\beta Ei}$  - плотность потока бета-частиц с Ei средней энергией, бета-частиц/см<sup>2</sup>·с; ехр  $-\mu_B \cdot d$  - поправка на ослабление бета-частиц в воздухе.  $e_{\beta Ei}$  - эквивалентная на единичный флюенс бета-частиц Еi средней энергии доза из таблицы 8.4 НРБ-99 [7], Зв·см<sup>2</sup>/част.

Из рассматриваемых радионуклидов наибольшей энергией обладают  $\beta$ -частицы испускаемые <sup>90Y</sup> (2,28 МэВ). С учетом консервативного подхода, для определения эквивалентной дозы на единичный флюенс, при расчете доз от внешних источников  $\beta$ -излучения, предполагалось что все  $\beta$ -частицы обладают энергией 2,28 МэВ.

## Методология расчета доз вследствие ингаляционного поступления радионуклидов

Расчет дозы от внутреннего поступления техногенных радионуклидов определяется расчетно-аналитическим способом с учетом данных, полученных в результате лабораторных исследований проб воздушных аэрозолей и водяных паров, измерений эквивалентной равновесной объемной активности <sup>222</sup>Rn и <sup>220</sup>Rn и справочных материалов по дозовым коэффициентам и годового объема вдыхаемого воздуха для условного человека [8].

Ожидаемая эффективная доза от поступления радионуклидов ингаляционным путём (через органы дыхания) определяется по формуле:

$$E_{i(unz)} = C_{i(pm)} \cdot V_{nepc} + C_{i(amm)} \cdot V_{nac} - V_{nepc} \cdot e_{(unz)i},$$
(5)

где  $C_{i(amm)}$  - среднегодовая концентрация і-го изотопа в атмосфере жилой зоны, м<sup>3</sup>;  $C_{i(pm)}$  - среднегодовая концентрация і-го изотопа в воздухе на рабочем месте, м<sup>3</sup>;  $V_{nepc}$  - объем вдыхаемого воздуха персонала [7];  $V_{nac}$  - объем вдыхаемого воздуха населения [7];  $e_{(unc)i}$  - дозовый коэффициент і-го изотопа при поступлении его ингаляционным путём, указанный в НРБ-99 в таблице П1 для персонала и в таблице П2 для населения, Зв/Бк [7].

Эффективная доза от поступления в организм радона и продуктов его распада  $E_{ДПР}$  определяется по формуле [6]:

$$E_{\mathcal{A}\Pi P \ nepc} = g_{\mathcal{A}\Pi P \ nepc} \cdot \begin{pmatrix} V_n \cdot Cp_{pM} + V_{\mu} - V_n \times \\ \times Cp_{amM} \cdot 0, 2 + Cp_{\mathcal{H} n} \cdot 0, 8 \end{pmatrix}, (6)$$

где  $g_{{\cal J}{\cal I}{\cal I}{\cal P}\ nepc} = 6,6\cdot10^{-9}$  Зв/Бк – условный дозовый коэффициент по <sup>222</sup>Rn для персонала рассчитанный на основе предела годового поступления для персонала;  $Cp_{{}_{{\cal M}{n}}}$ ,  $Cp_{{}_{{}_{{\cal M}{m}}}}$ , среднегодовая эквивалентная равновесная объёмная активность <sup>222</sup>Rn в жилых помещениях, атмосфере и на рабочем месте соответственно; 0,2; 0,8 - доли времени пребывания на улице и в помещениях соответственно.

Эффективная доза от поступления ДПР <sup>220</sup>Rn рассчитывается по формуле 6 с условным дозовым коэффициентам по <sup>220</sup>Rn для персонала  $g_{ДПР \ nepc} = 3 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк.

Расчет доз от внутреннего ингаляционного поступления радионуклидов проводился без учета защиты органов дыхания. При расчете доз, учитывая консервативный подход, значения объемных активностей по результатам измерений находящиеся ниже предела обнаружения приравнивались к пределу обнаружения используемых средств измерений.

#### Оценка индивидуальных доз персонала

## Дозы от внешних источников ионизирующего излучения

Результаты расчета доз от внешних источников излучения представлены в таблице 2.

По результатам расчетов годовых доз видно, что максимальные дозы от внешних ИИИ могли быть получены при проведении работ горизонтальным методом. Оценка вклада в дозу от внешнего гаммаи бета- излучения показала что при проведении работ вертикальным методом вклад в дозу от внешнего бета- излучения пренебрежимо мал, тогда как при проведении работ горизонтальным методом вклад в от внешнего бета- излучения может принимать значимые величины (рисунок 1, таблица 3).

Анализ формирования доз от внешних ИИИ по периодам расчета доз показывает, что для штолен с вертикальным методом работ изменение средней мощности эффективной дозы носит равномерный характер по всему периоду работ (рисунок 2). Формирование доз от внешних ИИИ на штольнях с горизонтальным методом работ не носит равномерный характер, при этом основное формирование дозы происходит во второй половине и может быть связанно с заключительным этапом работ по сооружению дополнительной защиты, характеризующиеся повышенной радиационной опасностью (рисунок 3).

Таблица 2. Расчета доз от внешних источников излучения

Обозначение штольни	Длительность работ, дней	Суммарная доза от внешних ИИИ за период работ, мЗв	Доза от внешнего ү-излучения за год, мЗв/год	Доза от внешнего β-излучения за год, мЗв/год	Суммарная доза от внешних ИИИ за год, мЗв/год
Г1	140	3,2	8,06	0,27	8,3
Г2	149	0,9	2,27	0,02	2,3
Г3	160	1,2	2,65	0,02	2,7
Г4	105	2,4	7,76	0,75	8,5
B1	80	0,4	1,62	0,01	1,6
B2	86	0,5	1,94	0,01	2,0
B3	72	0,3	1,33	0,01	1,3
B4	95	0,5	2,02	0,02	2,0
B5	42	0,2	1,44	0,01	1,5



Рисунок 1. Усредненный вклад в дозу от внешнего гамма- и бета-излучения, (а) на штольнях с горизонтальным методом создания защиты, (б) на штольнях с горизонтальным методом создания защиты

Таблица 3. Вклада в дозу от внешнего гамма- и бета-излучения, %

	Г1	Г2	Г3	Г4	B1	B2	B3	B4	B5
Вклад в дозу от внешнего гамма-излучения	97	99	99	91	99	99	99	99	99
Вклад в дозу от внешнего бета-излучения	3	1	1	9	1	1	1	1	1



Рисунок 2. Формирования доз от внешних ИИИ на штольнях с вертикальным методом проведения работ, (а) штольня B1, (б) штольня B3



Рисунок 3. Формирования доз от внешних ИИИ на штольнях с горизонтальным методом проведения работ, (а) штольня Г1, (б) штольня Г3

Дозы при внутреннем облучении радионуклидами

Расчет доз при внутреннем облучении <sup>241</sup>Ат,  $^{137}Cs+^{137m}Ba, {}^{3}H, {}^{222}Rn u {}^{220}Rn$ 

Расчет доз вследствие ингаляционного поступления радионуклидов проводился по измеренным значениям <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs+<sup>137m</sup>Ba, <sup>3</sup>H, <sup>222</sup>Rn и <sup>220</sup>Rn. Расчет доз вследствие ингаляционного поступления <sup>239+240</sup>Ри проводился как на основе измеренных значений, так и на основе расчетных данных по вычисленному соотношению для каждой штольни

 $^{239+240}$ Pu/<sup>241</sup>Am. Результаты расчета доз представлены в таблице 4.

Анализ вклада различных радионуклидов в формирование дозы показывает, что основное влияние на дозу оказывают,  $^{222}$ Rn,  $^{220}$ Rn,  $^{239+240}$ Pu и  $^{241}$ Am (таблица 5).

Проведен расчет усредненного вклада различных радионуклидов в формирование дозы для штолен с горизонтальным и вертикальным методами проведения работ (рисунок 4).

Таблица 4. Результаты расчета доз от ингаляционного поступления радионуклидов

Условное	Длительность	Суммарная доза от ингаляционного	Суммарная доза от ингаляционного
обозначение штольни	работ, дней	поступления за период работ, мЗв	поступления за год, мЗв/год
Г1	140	13,9	36
Г2	149	4,0	10
Г3	157	19,4	44
Г4	104	4,0	14
B1	80	1,0	4
B2	86	1,4	6
B3	72	1,3	7
B4	95	1,1	4
B5	42	0,6	5

	Г1	Г2	Г3	Г4	B1	B2	B3	B4	B5
ДПР радона	67	94	96	36	87	65	92	92	73
<sup>3</sup> Н	0,007	0,012	0,002	0,003	0,05	0,007	0,002	0,006	0,001
<sup>137</sup> Cs+ <sup>137m</sup> Ba	0,0003	0,0009	0,002	0,02	0,002	0,008	0,0004	0,0002	0,002
<sup>241</sup> Am	12	2	1	22	5	12	3	3	9
<sup>239+240</sup> Pu	22	4	3	42	9	23	5	5	17

Таблица 5. Вклад радионуклидов в формирование дозы для различных штолен, %



Рисунок 4. Усредненный вклад различных радионуклидов в формирование дозы, (а) на штольнях с горизонтальным методом создания защиты, (б) на штольнях с горизонтальным методом создания защиты Анализ усредненного вклада различных радионуклидов показал, что для штолен с разными методами проведения работ по созданию дополнительной инженерной защиты, механизм формирования доз схож.

Оценка индивидуальных доз персонала вследствие поступления<sup>241</sup>Ри

Предполагая, что соотношение <sup>241</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu будет неизменно для почвы и воздушных аэрозолей для одного объекта исследования, можно оценить дозу от поступления <sup>241</sup>Pu по результатам измерения удельной активности <sup>239+240</sup>Pu. По результатам работ проведенных в ИРБЭ НЯЦ РК видно, что соотношение <sup>241</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu для различных штолен варьируется от 1,7 до 130, следовательно, применять унифицированный коэффициент пересчета удельной активности <sup>241</sup>Pu по данным удельной активности <sup>239+240</sup>Pu нельзя. Однако для оценки возможного вклада в формирование доз вследствие поступления <sup>241</sup>Pu был проведен расчет доз для всех рассматриваемых штолен по известному соотношению <sup>241</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu (3,5) определенному для штольни В1. Полученные значения доз вследствие поступления <sup>241</sup>Pu и их сравнительный анализ с доз вследствие поступления <sup>241</sup>Am представлены на гистограмме (рисунок 5).

По результатам сравнения полученных доз вследствие внутреннего поступления <sup>241</sup> Ри и <sup>241</sup> Ат



Рисунок 5. Вклад в формирование дозы для различных штолен вследствие внутреннего поступления<sup>241</sup> Ри и <sup>241</sup> Ат

можно сделать вывод, что даже при относительно небольших значениях соотношению <sup>241</sup>Pu/<sup>239+240</sup>Pu (3,5) дозы от <sup>241</sup>Pu сравнимы с дозами от <sup>241</sup>Am. В случае же повышения значений данного соотношения до максимально зафиксированного на данный момент на площадке «Дегелен» (130) дозы вследствие внутреннего поступления <sup>241</sup>Pu будут значительно превышать дозы вследствие внутреннего поступления <sup>241</sup>Am.

Оценка вклада в индивидуальные дозы персонала вследствие поступления других изотопов

По результатам расчета активности в воздухе, на основе исходных данных об испытаниях на штольнях, проведен расчет вклад в формирование дозы от поступления основных радионуклидов, загрязнение которыми возможно на территории штолен и прилегающих участков в значимых концентрациях ( $^{90}$ Sr+ $^{90}$ Y,  $^{121}$ Sn-m,  $^{151}$ Sm,  $^{155}$ Eu,  $^{99}$ Tc,  $^{238}$ Pu,  $^{242}$ Pu). Расчет доз проводился с учетом консервативного подхода, по максимально возможным концентрациям при постоянном поступлении радионуклидов в течение года. Расчет активности радионуклидов в воздухе проводился по максимальным измеренным значениям объемной активности в воздухе  $^{241}$ Am и  $^{137}$ Cs для каждой штольни.

Результаты расчета годовых доз представлены в таблицах и на гистограммах.



Рисунок 6. Расчетные суммарные значения доз на основе измеренных значений <sup>241</sup> Ат и <sup>137</sup> Cs+<sup>137m</sup> Ba

127

Таблица 6. Расчетные значения	доз на основе измеренных значений '	<sup>57</sup> Cs, мЗв/год
-------------------------------	-------------------------------------	---------------------------

	Г1	Г2	Г3	Г4	B1	B2	B3	B4	B5
<sup>90</sup> Sr+ <sup>90</sup> Y	8,31E-03	6,64E-03	3,32E-01	2,49E-01	7,47E-03	8,31E-03	4,98E-03	6,64E-03	4,15E-03
<sup>99</sup> Tc	3,69E-04	2,95E-04	1,48E-02	1,11E-02	3,32E-04	3,69E-04	2,21E-04	2,95E-04	1,85E-04
<sup>155</sup> Eu	1,15E-05	9,23E-06	4,61E-04	3,46E-04	1,04E-05	1,15E-05	6,92E-06	9,23E-06	5,77E-06
<sup>242</sup> Pu	1,11E-06	8,86E-07	4,43E-05	3,32E-05	9,97E-07	1,11E-06	6,64E-07	8,86E-07	5,54E-07
<sup>238</sup> Pu	1,20E-03	9,60E-04	4,80E-02	3,60E-02	1,08E-03	1,20E-03	7,20E-04	9,60E-04	6,00E-04
<sup>121m</sup> Sn	1,23E-05	9,84E-06	4,92E-04	3,69E-04	1,11E-05	1,23E-05	7,38E-06	9,84E-06	6,15E-06
<sup>151</sup> Sm	1,85E-03	1,48E-03	7,38E-02	5,54E-02	1,66E-03	1,85E-03	1,11E-03	1,48E-03	9,23E-04
Суммарная доза	2,24E-02	1,79E-02	8,95E-01	6,71E-01	2,01E-02	2,24E-02	1,34E-02	1,79E-02	1,12E-02

	Г1	Г2	Г3	Г4	B1	B2	B3	B4	B5
<sup>90</sup> Sr+ <sup>90</sup> Y	4,77E-01	2,98E-02	3,58E-02	1,79E-01	4,18E-03	2,98E-02	2,98E-03	1,19E-02	1,67E-02
<sup>99</sup> Tc	2,12E-02	1,33E-03	1,59E-03	7,95E-03	1,86E-04	1,33E-03	1,33E-04	5,30E-04	7,42E-04
<sup>155</sup> Eu	6,63E-04	4,14E-05	4,97E-05	2,49E-04	5,80E-06	4,14E-05	4,14E-06	1,66E-05	2,32E-05
<sup>242</sup> Pu	6,36E-05	3,98E-06	4,77E-06	2,39E-05	5,57E-07	3,98E-06	3,98E-07	1,59E-06	2,23E-06
<sup>238</sup> Pu	6,89E-02	4,31E-03	5,17E-03	2,58E-02	6,03E-04	4,31E-03	4,31E-04	1,72E-03	2,41E-03
<sup>121m</sup> Sn	7,07E-04	4,42E-05	5,30E-05	2,65E-04	6,19E-06	4,42E-05	4,42E-06	1,77E-05	2,47E-05
<sup>151</sup> Sm	1,06E-01	6,63E-03	7,95E-03	3,98E-02	9,28E-04	6,63E-03	6,63E-04	2,65E-03	3,71E-03
Суммарная доза	1,29E+00	8,03E-02	9,64E-02	4,82E-01	1,12E-02	8,03E-02	8,03E-03	3,21E-02	4,50E-02

Таблица 7 Расцетные значен	IS YOS HU UCHUGO HEMEDOHUMAY	241  Am  M3e/200
Tuonunu 7. Tuc remnoie shuren		<i>nuvenuu</i> 11 <i>n</i> , <i>m</i> , <i>b</i> /200

Результаты расчетов показали, что наибольшее влияние на формирование дозы при внутреннем поступлении оказывают следующие радионуклиды -  ${}^{90}$ Sr+ ${}^{90}$ Y,  ${}^{151}$ Sm и  ${}^{238}$ Pu. Максимальные значения годовых доз при постоянном поступлении радионуклидов составили  ${}^{90}$ Sr+ ${}^{90}$ Y – 0,72 мЗв/год,  ${}^{151}$ Sm, -0,16 мЗв/год,  ${}^{238}$ Pu – 0,10 мЗв/год. Однако наибольшее влияние из всех рассмотренных радионуклидов оказывает  ${}^{90}$ Sr+ ${}^{90}$ Y (~40%).

Ожидаемые суммарные эффективные дозы

Расчет суммарных эффективных доз за период работ и за год представлен в таблицах 7-8.

Расчет эффективных доз для работ по сооружению дополнительной инженерной защиты показал,

что годовые дозы, которые могут быть получены как при проведении работ горизонтальным методом, значительно превышают дозы, полученные при проведении работ вертикальным методом. Проведения работ (в условиях аналогичных штольне Г1 и Г2), без использования средств индивидуальной защиты органов дыхания, в течение 3 лет может привести к переоблучению персонала (132-138 мЗв за 3 года при допустимых 100 мЗв за любые последовательные 5 лет).

Проведен расчет усредненного вклада в формирование доз от внешних ИИИ и внутреннего поступления радионуклидов (рисунок 8, таблица 9).

иолици 0. Гисчет суммирных эффективных 0	Габлица	8. 1	Расчет	суммарных	эффекти	івных доз
--	---------	------	--------	-----------	---------	-----------

Условное обозначение штольни	Суммарная доза от ингаляционного поступления за период работ, мЗв	Суммарная доза от ингаляционного поступления за год, мЗв/год	Суммарная доза от внешних ИИИ за период работ, мЗв	Суммарная доза от внешних ИИИ за год, мЗв/год	Суммарная эффективная доза за период работ, мЗв	Суммарная эффективная доза за год, мЗв/год
Г1	13,9	36	3,2	8,3	17,1	44,3
Г2	4	10	0,9	2,3	4,9	12,3
Г3	19,4	44	1,2	2,7	20,6	46,7
Г4	4	14	2,4	8,5	6,4	22,5
B1	1	4	0,4	1,6	1,4	5,6
B2	1,4	6	0,5	2	1,9	8,0
B3	1,3	7	0,3	1,3	1,6	8,3
B4	1,1	4	0,5	2	1,6	6,0
B5	0,6	5	0,2	1,5	0,8	6,5



Рисунок 7. Расчет суммарных эффективных доз



Рисунок 8. Усредненный вклад в формирование доз от внешних ИИИ и внутреннего поступления радионуклидов, (а) на штольнях с горизонтальным методом создания защиты, (б) на штольнях с горизонтальным методом создания защиты

Таблица 9. Вклад в формирование доз от внешних ИИИ и внутреннего поступления радионуклидов, %

Г1	Г2	Г3	Г4	B1	B2	B3	B4	B5
81	81	94	62	73	76	83	68	79
19	19	6	38	27	24	17	32	21
3	<b>-1</b> 31 19	Γ1Γ231811919	Γ1Γ2Γ331819419196	Γ1     Γ2     Γ3     Γ4       31     81     94     62       19     19     6     38	<b>Г2 Г3 Г4 В1</b> 31     81     94     62     73       19     19     6     38     27	<b>Г2 Г3 Г4 B1 B2</b> 31     81     94     62     73     76       19     19     6     38     27     24	Γ2     Γ3     Γ4     B1     B2     B3       31     81     94     62     73     76     83       19     19     6     38     27     24     17	<b>Г2 Г3 Г4 B1 B2 B3 B4</b> 31     81     94     62     73     76     83     68       19     19     6     38     27     24     17     32

По результатам расчета вклада в формирование доз от внешних ИИИ и внутреннего поступления радионуклидов можно сделать вывод, что как при горизонтальном методе создания дополнительной защиты, так и при вертикальном основное формирование доз происходит за счет внутреннего поступления.

Работы по сооружению дополнительной инженерной защиты на штольнях площадки «Дегелен» проводятся с обязательным использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания. Проведен расчет суммарной эффективной годовой дозы допуская, что минимальная кратность ослабления предельно допустимой концентрации используемых средств индивидуальной защиты равна 10 (таблица 10).

По результатам расчета суммарной эффективной годовой дозы, с учетом использования средств индивидуальной защиты органов дыхания, можно сделать вывод, что максимальные дозы, которые возможно было получить при проведении работ по созданию дополнительной защиты инженерных сооружений на рассматриваемых штольнях не превысили допустимых значений доз для персонала категории A (20 мЗв/год).

Таблица 10. Расчет суммарных эффективных доз с учетом использования средств индивидуальной защиты органов дыхания, мЗв/год

Условное обозначение штольни	Суммарная доза от ингаляци- онного поступления	Суммарная доза от внешних ИИИ	Суммарная эффективная доза
Г1	3,6	8,3	11,9
Γ2	1	2,3	3,3
Г3	4,4	2,7	7,1
Г4	1,4	8,5	9,9
B1	0,4	1,6	2
B2	0,6	2	2,6
B3	0,7	1,3	2
B4	0,4	2	2,4
B5	0,5	1,5	2

## СРАВНЕНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ ДОЗ ОТ ВНЕШНИХ ИИИ С РАСЧЕТНЫМИ ДОЗАМИ

Расчетные значения доз от внешних ИИИ были сравнены с измеренными значениями доз от внешних ИИИ для некоторых штолен. Измерение доз проводилось с использованием термолюминесцентных дозиметров. Результаты сравнения представлены на гистограмме (рисунок 9).

Расчетные значения доз от внешних источников ИИИ при вертикальном методе создании защиты в большинстве случаев практически совпадают с измеренными значениями, тогда как измеренное значение при горизонтальном методе создания защиты в 4 раза меньше расчетного значения. Данный факт объясняться характером изменения радиационной обстановки на месте ведения работ при различных методах создания защиты:

- при вертикальном методе создания защиты изменение радиационной обстановки носит равномерный характер, значения радиационных параметров, влияющих на формирование доз от внешних ИИИ, практически не изменяются во времени.
- при горизонтальном методе создания защиты изменение радиационной обстановки носит неравномерный характер, значения радиационных параметров изменяются во времени в диапазоне до 2 порядков.



Рисунок 9. Сравнение измеренных доз от внешних ИИИ с расчетными дозами

Так как расчет доз проводился с использованием консервативного подхода, т.е. предполагая, что человек постоянно находится в месте с максимальными значениями радиационных параметров, учитывая характер изменения радиационной обстановки, расчетное значение доз от внешних ИИИ при горизонтальном методе создание защиты будет значительно превышать измеренные значения доз, тогда как при вертикальном методе создания защиты расчетные значения доз будут сопоставимы с измеренными.

## Выводы

1. При оценке доз от внешних ИИИ необходимо учитывать вклад от внешнего бета- излучения при работах на штольнях с горизонтальным методом создания защиты.

2. При создании защиты горизонтальным методом основная доза от внешних ИИИ формируется во время проведения заключительного этапа работ, связанного непосредственно с сооружением дополнительной защиты.

3. Механизм формирования доз от внутреннего поступления радионуклидов одинаков как для горизонтального метода создания дополнительной защиты, так и для вертикального.

4. Вклад в дозу от внутреннего поступления радионуклидов  $^{137}Cs+^{137m}Ba$  и <sup>3</sup>H не превышает 0,01%.

5. Наибольшее влияние на дозу от ингаляционного поступления радионуклидов оказывают естественные радионуклиды  $^{222}$ Rn и  $^{220}$ Rn. Однако не следует пренебрегать влиянием на формирование доз при ингаляционном поступлении техногенных радионуклидов, таких как  $^{241}$ Am и  $^{239+240}$ Pu.

6. Наиболее оперативным и экономически выгодным способом оценки доз при внутреннем поступлении <sup>239+240</sup>Ри является расчетный метод по измеренным значениям объемной активности <sup>241</sup>Ат в воздухе.

7. При проведении работ по созданию дополнительной инженерной защиты необходимо учитывать вклад от <sup>241</sup>Pu. Вклад от <sup>241</sup>Pu можно учитывать расчетным путем по измеренным значениям <sup>241</sup>Am.

8. Для более точной оценки доз от внутреннего облучения необходимо понизить предел обнаруже-

ния по <sup>241</sup>Am (путем повышения времени аспирации, изменением подготовки проб или измерением всех фильтров по окончанию работ с вычислением средней объемной активности за весь период работ).

9. Из всех радионуклидов, содержание которых в значимых концентрациях возможно по результатам расчета на основе исходных данных при проведении работ по созданию дополнительной защиты инженерных сооружений на штольнях площадки «Дегелен», наибольшее влияние на формирование доз от внутреннего поступления радионуклидов наибольшее влияние <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y (~40%).

## Рекомендации по оптимизации обеспечения радиационной безопасности при проведении работ по сооружению дополнительной инженерной защиты на штольнях площадки «Дегелен» в целях предотвращения переоблучения персонала

1. Снизить частоту отбора образцов для оценки доз от внутреннего поступления радионуклидов  $^{137}$ Cs+ $^{137m}$ Ba и  $^{3}$ H до 1 раза в неделю.

2. Для более оперативной оценки доз от внутреннего поступления и <sup>239+240</sup> Ри и <sup>241</sup>Ри проводить расчет ожидаемой объемной активности и <sup>239+240</sup>Ри и <sup>241</sup>Ри в воздухе по измеренным значениям объемной активности <sup>241</sup>Ат в воздухе.

 При предварительном обследовании провести измерения и <sup>239+240</sup>Pu и <sup>241</sup>Pu в пробах почвы для расчета соотношения и <sup>239+240</sup>Pu/<sup>241</sup>Am и <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am.
Так как соотношения <sup>239+240</sup>Pu/<sup>241</sup>Am и

4. Так как соотношения <sup>239+240</sup>Pu/<sup>241</sup>Am и <sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am при создании защиты горизонтальным методом по мере проходки вглубь штольни могут изменяться необходимо, проводить повторное определение данных соотношений при прохождении ключевых этапов (вскрытие пробки, вскрытие концевой полости).

5. Для более точной оценки доз от внутреннего облучения понизить предел обнаружения по <sup>241</sup>Am путем увеличения объема отбираемых проб до 1000 м<sup>3</sup>.

6. Проводить оценку доз от внутреннего поступления <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y посредством определения их объемной активности инструментальными методами.

#### Литература

- 1. Оценка профессионального облучения от внешних источников ионизирующего излучения. Руководство по безопасности. Серия норм безопасности, №RS-G-1.3. Вена: МАГАТЭ, 1999. 102с.
- 2. Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений: справочник / В.П Машкович. М.: Энергоатомиздат, 1982.
- 3. Методические указания. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: МУ 2.6.1.1088-2: утв. Министра здравоохранения Российской Федерации 2002г.
- 4. Оценка профессионального облучения вследствие поступления радионуклидов/ Руководство по безопасности. Серия норм безопасности, №RS-G-1.2. Вена: МАГАТЭ, 1999. 97с.
- 5. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: справочник / под.ред. Л.А.Ильина. Л.: Химия, 1990. 225 с.
- Методические указания. Определение эффективной дозы ионизирующего излучения на персонал и население. Алматы, 2005. - 14 с.
- 7. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): СП 2.6.1. 758-99; ввод. в действие 01.01.2000. Алматы: Агентство по делам Здравоохранения РК, 1999. 80с. ISBN 9965-501-42-4.
- 8. Гусев, Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник. / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. М.: Энергоатомиздат, 1986. 224с.

## «ДЕГЕЛЕҢ» АЛАҢЫ ШТОЛЬНЯЛАРЫНДАҒЫ ИНЖЕНЕРЛІК ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ ҚОСЫМША ҚОРҒАУЫН ҚҰРУ БОЙЫНША ЖҰМЫСТАРДЫ ЖҮРГІЗУ КЕЗІНДЕГІ ЖЕКЕ ДОЗАНЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУ

#### Мустафина Е.В., Лукашенко С.Н., Осинцев А.Ю., Брянцева Н.В.

#### ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада «Дегелең» алаңы штольняларындағы инженерлік құрылыстардың қосымша қорғауын құру бойынша жұмыстарды жүргізу кезіндегі қызметкердің жеке дозасын есептеу нәтижесі ұсынылған. Қосымша инженерлік қорғау құрылысы бойынша жұмыстарды жүргізу кезіндегі жеке дозаны қалыптастыруға әсер ететін негізгі факторлар анықталып, қызметкерге иондық сәулеленудің сыртқы көздерінен дозалық жүктемесі және радионуклидтердің ингаляциялық түсуінің салдары есептелген, қосымша инженерлік қорғау құрылысы бойынша жұмыстарды жүргізу кезіндегі радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуді оңтайландыру бойынша ұсыныстар әзірленген.

## FORMATION OF INDIVIDUAL DOSES WHEN MAKING SUPPLEMENTARY PROTECTION FOR ENGINEERING STRUCTURES ON TUNNELS OF "DEGELEN" TEST SITE

#### E.V. Mustafina, S.N. Lukashenko, A.Yu. Osintsev, N.V. Bryantseva

#### Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The article presents the calculation results of individual doses of staff during the creation of supplementary protection for engineering structures on tunnels of "Degelen" test site. The main factors have been determined that influence the formation of individual doses in the works for the construction of additional engineering protection, we have calculated the dose to personnel from external sources of ionizing radiation and as a result of inhalation intake of radionuclides, and there were developed recommendations for optimization of radiation safety when working on the construction of additional engineering protection.

## УДК 621.039.516.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКТОРА С НАБОРАМИ ТВС ОТЛИЧАЮЩИХСЯ СПЕКТРОМ НЕЙТРОНОВ

#### Котов В.М., Дудко А.С.

#### Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В работе рассматривается тепловой реактор с высоким воспроизводством делящихся веществ. Авторы исследовали особенности реактора, основная часть топлива которого работает на тепловых нейтронах, дополнительная на быстрых. Топливо быстрой зоны обеспечивает необходимую добавку нейтронов для воспроизводства делящихся веществ в реакторе. Данная схема позволяет упростить конструкцию реактора и переработку топлива.

Показаны высокие потенциальные возможности теплового реактора со вставками ТВС с жестким спектром нейтронов. Минимальные затраты на сырье, отсутствие обогащения урана, простота конструкции делают предполагаемую технологию эффективной. На тепловых реакторах с жестким спектром нейтронов может быть создана ядерная энергетика, при малом потреблении природного урана.

#### Введение

В настоящее время актуальной задачей атомной энергетики является повышение доли вырабатываемой ею энергии по отношению к энергии, вырабатываемой при сжигании органических топлив. Существующие тепловые реакторы, работающие на урановом топливе и потребляющие практически только уран-235, эту задачу решить не в состоянии. Реакторы на ториевом топливе могут вводиться в строй также только с использованием в начале своей работы урана-235.

Реакторы на быстрых нейтронах позволяют построить эффективную энергетику в отношении использования урана, но требуют больших начальных вложений природного урана, при возможности последующей работы на отвалах обогатительного производства [1,2]. Это создает как технические, так и экономические трудности, а также увеличивает риск распространения делящихся веществ в качестве оружейных материалов [3].

В Институте атомной энергии РГП НЯЦ РК исследуется возможность построения широкомасштабной энергетики, лишенной указанных недостатков. На сегодняшний день пути решения такой задачи определены. Они основаны на использовании тепловых реакторов с высоким воспроизводством делящихся веществ, достигаемым за счет минимизации потерь нейтронов в конструкционных материалах, использовании дополнительных источников нейтронов и ряда других мер. Исследованы различные компоновки активной зоны реактора которые показали положительные результаты и высокие потенциальные возможности выбранного направления.

В лучших вариантах достигается использование уранового сырья в топливном цикле до 20-30 %. В вариантах с дополнительными источниками – до 100 %, но при этом возникают потери вырабатываемой реактором энергии [4].

#### Конструкция реактора и основные элементы ТВС

Замедлителем в исследуемом реакторе является тяжелая вода, отражатель содержит слой тяжелой воды окруженный слоем графита.

Основная часть активной зоны реактора состоит из 636 ТВС на тепловых нейтронах, и 12 быстрых ТВС.



1 – графит, 2 – тяжелая вода, 3 – тепловые ТВС, 4 – ТВС с быстрым спектром нейтронов

Рисунок 1. Один из вариантов размещения топливных сборок с быстрым спектром нейтронов среди ТВС с тепловым спектром

Тепловая топливная сборка содержит 20 твэлов с диаметром сердечника 4 мм, расположенных на одном радиусе, что обеспечивает их равномерное нагружение.

В ТВС на быстрых нейтронах расположено максимум 1140 твэла с диаметром сердечника 3 мм. Центральная часть ТВС в вариантах с уменьшенным числом твэлов заполнена слабопоглощающим и слабозамедляющим нейтроны газом. Заполнение свободной полости газом обеспечивает возможность обмена быстрыми нейтронами для всех твэлов сборки.



2- топливо тепловой зоны, 3-газовая область

#### Рисунок 2. Тепловая ТВС

Между тяжелой водой активной зоны и быстрой ТВС размещен слой тяжелых металлов, которые препятствуют миграции тепловых нейтронов в быструю ТВС, обеспечивая высокую возможность прохождения быстрых нейтронов. Толщина слоя металлов задавалось в интервале от двух до четырех сантиметров. В данном слое можно установить Bi, Pb и <sup>120Sn</sup> или их смесь.



Рисунок 3. Быстрая сборка

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Процессы, происходящие в быстрой топливной сборке, начиная от границы раздела между тяжеловодным замедлителем и тяжелыми металлами достаточно сложные, все расчеты проведены с помощью программного пакета [6]. Достаточная достоверность расчетов достигалась при числе историй не менее 100000.

Для выявления характеристик данных эффектов была намечена последовательность проведения следующих вариантов расчетов, отличающихся изменением:

1. состава топлива;

- спектра нейтронов в быстрой и тепловой тепловыделяющих сборках;
- толщины слоя тяжелых металлов между замедлителем и твэлами быстрой сборки;
- распределения энерговыделения по радиусу быстрой сборки;
- полного заполнения центральной части сборки твэлами;
- 6. содержания делящегося вещества в быстрых и тепловых твэлах.

Все варианты расчета реактора выполнены с двумя видами топлива, различавшимися содержанием топливных материалов. В первом варианте топливо содержит <sup>238</sup>U торий и делящиеся вещества на их основе - <sup>233</sup>U, <sup>239</sup>Pu второе топливо содержит <sup>238</sup>U и <sup>239</sup>Pu.

Имитация среднего содержания компонентов в кампании такого реактора достигается при близости коэффициента его размножения к единице.

Таблица 1. Процентное содержание топливных материалов в твэлах

нуклид	1 ва	риант	2 ва	риант
	Быстрая сборка	Тепловая сборка	Быстрая сборка	Тепловая сборка
Th 232	22,5	24,5	-	-
U 238	67,5	73,5	99,8	90
Pu 239	0,65	0,13	0,2	10
U 233	0,35	0,07	-	-

Проведен расчет спектров нейтронов в топливе тепловых ТВС. Для быстрой сборки рассчитаны спектры в средней части сборки и области граничащей с тяжелыми металлами.



1 - периферийная область, 2 - средняя область сборки

#### Рисунок 4.

В результате расчета можно сделать вывод. Спектр топлива основной зоны реактора является тепловым.

В периферийной зоне быстрой TBC заметен небольшой всплеск в тепловой области, но больший пик наблюдается при энергии, близкой к энергии нейтронов деления.

В средней части быстрой TBC, пик в тепловой области резко уменьшен, а в быстрой области уменьшен незначительно. Из этого следует что тепловые нейтроны вносят существенный вклад только в слой периферийных твэлов быстрой TBC.



Рисунок 5. Спектр нейтронов в быстрой и тепловой топливных сборках

Проведено сравнение трёх вариантов, отличающихся толщиной слоя тяжелых металлов между замедлителем и быстрой ТВС. Толщина изменялась от 1,95 до3,95 см. При всех вариантах расчетов сохранялся внешний диаметр сборки. На рисунке 6 представлено два варианта с изменением толщины слоя тяжелых металлов между твелами и тяжеловодным замедлителем.

Общее число делений в быстрых ТВС, относительно числа делений в реакторе, представлено в таблице 2.

Толщина слоя	Nбс/ Np
1,95	11,73%
2,95	5,69%
3,95	3,89%



Были рассмотрены варианты с изменением числа слоев твэлов в быстрой ТВС.В одном из вариантов представлено полное заполнение полости ТВС твэлами (рисунок 7).

В других вариантах центральная полость TBC заполнена газом, твэлы в этом варианте расположены в один или несколько слоев. Сохранялся внешний диаметр TBC.

Исследованы варианты, в которых внешняя зона ТВС занята твэлами с высоким содержанием делящихся веществ, а ее центральная зона с малым содержанием делящихся, вплоть до нулевого в элементах, заменяющих твэлы делящегося вещества (имитаторы твэлов). Такое решение позволяет увеличить число делений и воспроизводство делящихся в сырьевых нуклидах.



Рисунок 6. Изменение толщины слоя тяжелых металлов


Рисунок 7. Изменение количества слоев твэлов

Проведен расчет распределения энерговыделения по радиусу реактора. Рассматривались распределения поглощения и деления в ТВС для контроля изменения спектра нейтронов в тепловых ТВС.

Результаты расчета показали, что неравномерность энерговыделения в реакторе невелика, спектр нейтронов стабилен.



Рисунок 8. Распределение энерговыделения по радиусу реактора

Проведен расчет характеристик реактора с полным заполнением полости быстрой ТВС твэлами.

Центральная полость ТВС была разделена на три зоны. Периферийную где содержится - 324 твэла, промежуточную зону - 421 твэл и центральную зону 396 твэлов.



зона (421 твэл), центральная зона (396 твэлов)

Рисунок 9. Топливная сборка с условным трехзонным разделением делящихся веществ

Распределения делений в <sup>238U</sup> по слоям говорит о том, что в периферийном слое высок вклад делений на тепловых нейтронах, пришедших из основной зоны реактора (таблица 3). Таким образом, висмут с большей толщиной вносит существенную задержку в миграцию тепловых нейтронов к области стока (которой является быстрая сборка). При меньшей толщине слоя висмута между замедлителем и твэлами быстрой ТВС существенно выше коэффициент размножения реактора. Этот фактор говорит о возможности увеличения воспроизводства в основной зоне реактора путем дальнейшего снижения содержания делящихся веществ в топливе этой зоны.

Таблица 3.

Слой	Кэфф.	Число делений в U 238 в слоях, %					
	реактора	Перифе-	Средний	Централь-			
		рийный		ный			
1,95см	1,14	8,02	2,61	1,10			
2,95см	1,09	5,4	1,73	0,8			
3,95см	1,07	2,61	0,87	0,41			

Изменение содержания делящихся веществ в быстрых и тепловых сборках проводилось таким образом, чтобы коэффициент размножения реактора был близок к единице.

В таблице 4 представлено содержание делящихся веществ в быстрой и тепловой топливной сборке и коэффициенты размножения

Таблица 4.

N⁰	Количество деля	Кэфф	
	Быстрая борка	реактора	
1	5	0.2	0.91
2	10	0.2	0.99
3	15	0.2	0.92
4	20	0.2	1.01
5	20	0.3	1.23
6	20	0.5	1.3

Чтобы повысить эффективность, без проведения характеристик кампании реактора, используя данные с отличием Кэфф от 1, можно сделать определенную поправку в значение воспроизводства по величине полученного коэффициента размножения.

$$k_{gocnp} = \frac{NO2 \pi . U_{238}}{NO2 \pi . P_{\mu 239} + \partial e \pi . P_{\mu 239}} \cdot k_{godp}$$

Таблица 5.

N⁰	Количество деля	Квоспр.	
	Быстрая сборка	реактора	
1	5	0,2	1,21
2	10	0,2	1,14
3	15	0,2	1,02
4	20	0,2	0,94
5	20	0.3	0.89

#### Заключение

В результате работы можно отметить, что проведенные расчеты показали высокие потенциальные возможности выбранного направления. Показано, что в быстрой сборке, занимающей небольшую часть активной зоны реактора происходит около 12 % делений этого реактора, причем, с высокой долей делений на быстрых нейтронах, в которых появляется значительно большее число вторичных нейтронов, чем при делении на тепловых нейтронах.

#### Литература

- 1. Белая книга атомной энергетики / Е. Адамов [и др.]. М.: ГУП НИКИЭТ, 2001. 270 с.
- Пономарев Степной, Н. Н. Сравнение направлений развития ядерной энергетики в XXI в. на основе расчетов материальных балансов / Н. Н. Пономарев - Степной [и др.] // Журн. атомная энергия. – 2001. – Т. 91, вып. 5. – С. 331 – 336.
- 3. Котов, В. М. Воспроизводство делящихся веществ в тепловых реакторах / В.М. Котов, С.В Котов // Журн. атомная энергия. 2007. Т. 71, вып. 5. С. 145 149.
- Ядерные реакторы с высокой эффективностью топливно-энергетического цикла: отчет НТП / Дочернее государственное предприятие «Институт атомной энергии» Республиканского государственного предприятия «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (ДГП ИАЭ РГП НЯЦ); рук. В. М. Котов. – К., 2009. – 19 с. – б/н.
- Kotov, V. Application of volume neutron source to enhance the use of fertile materials in nuclear power at thermal reactors / V. Kotov // Plasma Devices and Operations. – 2007. – Vol. 15, № 3. – P. 219–224.
- 6. MCNP/5: General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, 2003

# НЕЙТРОНДАР СПЕКТРІ БОЙЫНША АЖЫРАТЫЛАТЫН ЖЫЛУ БӨЛГІШ ЖИНАҚТАРЫ ОРНАТЫЛҒАН РЕАКТОРДЫ ЗЕРТТЕУ

#### Котов В.М., Дудко А.С.

#### ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазақстан

Аталған жұмыста өндіріс қабілеттілігі жоғары бөлінгіш элементтері бар жылулық реактор қарастырылады. Жұмыс авторлары ректордың бір қатар ерекшеліктерін зерттеген. Реактордың негізгі ерекшелігі, бұл реактор отынының негізгі бөлігі жылулық нейтрондарда, ал қосалқы бөлігі жедел нейтрондарда жұмыс атқаратындығы. Жедел нейтрондар аймағының отыны, реактордағы бөлінгіш заттардың өндірісі үшін қажетті мөлшердегі нейтрондар санын қамтамасыз етеді. Мұндай схема отынды өндірудің жеңілділігіне және реактор құрылымын қарапайымдылығына себеп болады.

Нейтрондардың қатаң спектрі бар ЖБЖ - ны қолданғандағы жылулық реактордың жоғары мүмкіндіктері айқындалды. Шикізатқа деген шығынның азаюы, уранды байытудың қажетсіздігі, реактор құрылымының қарапайымдылығы, қарастырылып отырған технологияның эффективтілігін дәлелдейді. Табиғи уранды аз мөлшерде қажет ететін қатаң спектрлі нейтрондардағы жылулық реактор, ядролық энергетиканың ертеңі болуы мүмкін.

# **RESEARCH OF THE REACTOR FA SETS DIFFERING BY THE NEUTRON SPECTRUM**

#### V.M. Kotov, A.S. Dudko

#### Institute of Atomic Energy of NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The work describes the thermal reactor with high production of fission materials. The authors researched peculiarities of the reactor, where the basic part of fuel operates on thermal neutrons, and the additional one operates on fast neutrons. The fuel of fast core provides necessary addition of neutrons for fission materials production in a reactor. Such a scheme allows simplifying the reactor construction and fuel processing.

High potentiality of thermal reactor with FA inserts with neutron hard spectrum is shown. Minimal expenses for raw materials, uranium enrichment absence, the simplicity of the construction make the proposed technology effective. Power engineering can be created on thermal reactors with neutron hard spectrum at minimal consumption of natural uranium.

# СОЗДАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ НИЗКО – И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КАМЕР И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННО–ПЛАСТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ОБЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### Рыбин С.В., Максимкин О.П., Гусев М.Н.

#### Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Рассмотрены конструктивные особенности специально разработанных температурных камер, позволяющих проводить механические испытания на растяжение и сжатие радиоактивных образцов при температурах от - 185°C до 300°C существенно расширяющих экспериментальные возможности универсальной испытательной машины «Instron 1195». Приведены результаты сравнительных исследований влияния температуры испытания на характеристики прочности и пластичности нержавеющей стали 12X18H10T.

#### Введение

На сегодняшний день в Республике Казахстан уделяется особое внимание развитию атомной энергетики. В то же время общепризнанно, что дальнейшее развитие ядерной энергетики требует прогресса в области радиационного материаловедения на пути создания новых радиационностойких материалов. Известно, что в качестве основных конструкционных материалов для быстрых реакторов и реакторов IV поколения рассматривают, нержавеющие стали аустенитного и ферритомартенситного классов. Многие аспекты воздействия облучения на структуру, свойства металлов и сплавов изучены не достаточно, исследователи постоянно обнаруживают новые явления.

Для всестороннего изучения различных явлений исследовательским группам требуется возможность «маневра» в плане условий эксперимента, например по температуре испытания. При этом необходимо получить, как можно больше информации, о проведенном эксперименте. В последнее время опубликовано большое количество работ, в которых проведение деформационного эксперимента сопровождается цифровой фото- или видео записью (см., например, [1,2]). Это позволяет получать дополнительную информацию о механизме деформации [2], кинетике деформационного упрочнения [3], особенностях тех или иных явлений, сопровождающих пластическую деформацию: зубчатость на кривых течения [2], «волн деформации» [4,5] и т.п.

Оптическая регистрация не представляет особых проблем для экспериментов, выполняемых при комнатной температуре, но вызывает затруднения при использовании штатных низко- и высокотемпературных камер, конструкция которых не предусматривает возможности наблюдения за образцом. Камеры, где такая возможность есть, либо дороги, либо не выпускаются для имеющегося парка испытательных машин.

В ряде случаев исследовательским группам для решения специфических задач быстрее и дешевле самостоятельно создать требуемые устройства. К настоящему времени в лаборатории радиационного материаловедения ДГП ИЯФ НЯЦ РК была разработана и создана низко - и высокотемпературная камеры с возможностью оптической регистрации изменений в образце в ходе деформационного эксперимента, эти камеры расширяют экспериментальные возможности универсальной испытательной машины «INSTRON 1195», на которую они легко устанавливаются с использованием разработанного типа крепления. Камеры позволяют проводить механические испытания на сжатие и растяжение высокооблученных образцов разных типов в широком интервале температур от 500°С до -185°С. Полученные предварительные результаты, свидетельствуют о работоспособности разработанных камер.

Области применения:

- 1. Определение температуры конца мартенситного перехода в метастабильных сталях.
- Особенности хрупко вязкого перехода (ХВП) в железе.
- Изучение динамического деформационного старения (ДДС).
- Влияние низких температур на пластичность в высокооблученных аустенитных метастабильных сталей.

# **1.** Камера для испытания при низких температурах

Камера (рисунок 1) была разработана для использования на универсальной испытательной машине «INSTRON 1195». Она состоит из внешнего корпуса (1) и внутренней низкотемпературной камеры (2), выполненной из нержавеющей стали, устойчивой к большим температурным градиентам при контакте с хладагентом. В нижней части внутренней камеры расположен испарительный бассейн (5), куда через специальный канал (6) подается хладагент. Через отверстие в верхней части камеры вводится сборка (3), в захватах которой фиксируется образец (рисунок 2). Захваты (рисунок 3) унифицированы для использования как плоских, так и круглых образцов [6].







Рисунок 1.



Рисунок 2. Сборка для деформирования. Показан установленный круглый образец

Сборка для растяжения выполнена, из нержавеющей стали, с низким коэффициентом теплопроводности, что уменьшает поток тепла внутрь низкотемпературной камеры. При смене образца не требуется открывать камеру – извлекается только сборка, что сохраняет температурный режим в устройствах и сокращает расход хладагента в криокамере.

В камере расположены два вентилятора (4). Пространство между внутренней камерой и внешним корпусом заполнено термоизоляцией (7), толщина которой варьируется от 50 до 90 мм. В нижней части корпуса размещен извлекаемый поддон (8) с влагопоглотителем (силикогель). Последний предназначен для осушения теплоизоляции и поглощения влаги, попавшей по тем или иным причинам во внутреннюю камеру. Для наблюдения за экспериментом в дверце камеры смонтирован стеклоблок (9), съемку процесса эксперимента осуществляют с помощью цифровой фотокамеры (13) управляемой удаленно с компьютера.



Рисунок 3. Захваты для круглого (слева) и плоского (справа) образцов

На внешнем корпусе располагается блок управления (10), а сбоку (на стороне с наиболее мощной теплозащитой) – шина (11), на которую выведены три термопары, расположенных в камере. Рядом с шиной предусмотрено крепление внешнего термометра (12) для корректировки величины температуры теплого спая термопар.

Технические характеристики криокамеры: внешний размер 400х350х400 мм, размер внутренней камеры 200х200х200 мм, объем внутренней камеры 8л., диапазон рабочих температур от комнатной до -185°С (при использовании жидкого азота), масса камеры 16 кг. Криокамера подключается к персональному компьютеру двумя шлейфами – командным и измерительным. Небольшой вес и маленькие габариты дают возможность устанавливать камеру на испытательную машину одним человеком за 20-25 минут.

Схема системы управления, контролирующей охлаждение, стабилизацию и измерение температуры, показана на рисунке 4.



РУ – блок ручного управления, АВТ – автоматическое управление с компьютера (блок реле), АЦП – плата аналого-цифрового преобразователя, установленная на персональном компьютере **а** – Блок-схема система управления



 сифонная трубка; 2) отводная трубка; 3) нагревательная спираль (электросопротивление); 4) криокамера; 5) командное реле;
 6) емкость с хладагентом

б – схема системы автоматической подачи хладагента

### Рисунок 4.

Вентиляторы внутри камеры работают в перпендикулярных друг другу плоскостях, что позволяет надежно поддерживать равномерность температуры в рабочем объеме, блок управления температурой, который имеет два режима работы «ручной» и «автоматический» поддерживает нужный температурный режим внутри камеры (в автоматическом режиме управление осуществляется удаленно через компьютер). Шина с тремя термопарами типа «хромельалюмель» позволяет в реальном масштабе времени контролировать температуру внутри камеры и отслеживать ее равномерность в рабочем объеме.

Хладагент (жидкий азот или жидкая углекислота) подается автоматически [9], по команде с компьютера (рисунок 4). Система способна, дозировано производить подачу хладагента внутрь камеры, расход которого не превышает 0.8 литра в час при работе на темпе-



Вся информация о ходе эксперимента (температурный режим, контроль подачи хладагента, состояние вентиляторов, состояние испытательной машины) отображается на мониторе ПК при помощи специально разработанной программы на языке программирования «Дельфи» и аналого-цифрового преобразователя.

# **2.** Камера для испытания при повышенных температурах

Высокотемпературная камера создавалась под ряд специальных задач, проводимых на универсальной испытательной машине «Instron 1195». Общий вид и устройство камеры представлены на рисунке 5.



а – внешний вид испытательной камеры



б – схема внутреннего устройства



Камера состоит из легкого внешнего корпуса (1), внутренней «горячей» камеры (2) выполненной из нержавеющей стали. Отличительной особенностью от криокамеры является то, что данная камера оснащена двумя каналами для ввода захватов (3), что позволяет либо использовать сборку унифицированную с криокамерой, либо применять штатные захваты машины «Instron 1195». Предусмотрена возможность создания защитной атмосферы (азот) через специальный канал (4) для предотвращения окисления металлов при высоких температурах. Внутри, в центре «горячей» камеры в непосредственной близости к сборке имеется вентилятор (5), обеспечивающий однородность температуры во внутреннем объеме устройства. Три кварцевые трубки, в которых расположена нихромовая спираль(6), подключенная к автотрансформатору обеспечивает подогрев до нужной температуры и её поддержания. Внутреннее пространство между корпусом и «горячей» камерой заполнено жаростойкой минеральной ватой (7). Как и в криокамере имеется стеклоблок (8), необходимый для оптической регистрации образца в ходе эксперимента. В верхней, задней части камеры на её корпусе расположен блок управления



 а – блок-схема системы управления, контролирующей нагрев, стабилизацию и измерение температуры

вентилятором и температурным режимам (9), сопрягающийся командными линиями с пультом управления (10) (смотри рисунок 6, б), а так же измерительными и командными линиями с анолого-цофровым преобразователем. Сбоку на корпусе расположена шина с тремя термопарами типа «хромель-алюмель» (11), над шиной крепится внешний ртутный (12) термометр для ввода поправок теплого спая термопар в компьютер. Цифровой фотоаппарат (13) крепится на специальном штативе в пяти сантиметрах от стеклоблока.

Внешний размер камеры составляет 400x350x400 мм., размер внутренней «горячей» камеры 200x200x200 мм., объем внутренней камеры 8 литров, диапазон рабочих температур от 20°С до 500°С, масса 18 кг. Рабочие напряжения: напряжения питания вентилятора 220 В., напряжения для включения силовых реле +24 В., командные сигнаы с АЦП +5 В., напряжения подаваемые на нагревательные элементы до 220 В.

Блок-схема системы управления, контролирующая нагрев, стабилизацию и измерение температуры, показана на рисунке ба.



б – пульт управления системы нагрева и стабилизации температуры

Рисунок 6.

Подача защитного газа, сбор, регистрация данных производится аналогично с криокамерой, оба устройства унифицированы по захватам в системе крепления разъемом, командным и измерительным линиям.

# 3. НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ

РЕЗУЛЬТАТЫ

Созданные камеры предназначены для экспериментов с миниатюрными облученными образцами и исследования ряда явлений, чувствительных к температуре испытания. Это в частности, охрупчивание ОЦК-материалов при понижении температуры (т.н. «сдвиг температуры хрупко-вязкого перехода» [7]), развитие мартенситного превращения при деформации метастабильных аустенитных сталей [8] и ряда других.

На рисунке 7 показано изменение вида инженерных диаграмм для необлученной и облученной стали 12X18H10T. Видно, что в случае растяжения при температуре -80°С (в отличие от температуры 20°С) на инженерной кривой фиксируется площадка текучести, после которой идет стадия пластического деформационного упрочнения. Вероятнее всего, этот эффект обуславливается образованием значительного количества α' – мартенсита деформации.



Рисунок 7. Кривые «инженерные напряжения, σ– условная деформация, ε» для необлученной (1,3) и облученной нейтронами до 1.3×10<sup>20</sup>н/см<sup>2</sup> (2,4) стали 12X18H10T, испытанной при 20 ℃ (1,2) и при -80 ℃ (3,4)



Рисунок 8. Диаграммы растяжения образцов железа

# Литература

- 1. Шибков, А.А. Динамика спонтанной делокализации пластической деформации при неустойчивом пластическом течении сплавов Al-Mg / А.А. Шибков, Р.Ю. Кольцов, М.А. Желтов, А.В. Шуклинов, М.А. Лебедкин // Известия РАН. Серия физическая, 2006.– Т.70, № 9.– С. 1372-1376.
- 2. Комплекс in situ методов исследования скачкообразной пластической деформации металлов / А.А. Шибков, [и др.] //«Заводская лаборатория. Диагностика материалов», 2005. т.71, № 7. С. 16-23.
- 3. Максимкин, О.П. Метод изучения локализации деформации в металлических материалах, облученных до высоких повреждающих доз / О.П. Максимкин, М.Н. Гусев, И.С. Осипов // "Заводская лаборатория. Диагностика материалов", 2006. Т.72, №11. С.52-55.
- 4. Локализация деформации в сплавах на основе циркония / Т.М. Полетика [и др.] // Материаловедение.– 1999. №10.– С. 32-36.
- Maksimkin, O.P., Anomalously large deformation of 12Cr18Ni10Ti austenitic steel irradiated to 5 to 55 dpa at 310 C in the BN-350 reactor / O.P. Maksimkin, M.N. Gusev, I.S. Osipov, F.A. Garner // J. Nuclear Materials. – 2009. - P. 273-276.
- Эволюция структурно-фазовогосостояния и радиационная стойкость конструкционных материалов / В.Н. Воеводин, И.М. Неклюдов. - Киев : Наук. думка, 2006. – 375 с.
- 7. Упрочнение аустенитных сталей / В.В. Сагарадзе, А.И. Уваров М. : Наука, 1989. 270 с.
- 8. Техника физико-химического исследования / К.В. Чмутов [и др.] М. : Наука, 1954. 343 с.

На рисунке 8 приведены диаграммы растяжения облученных нейтронами образцов железа, деформированных при температурах 200 - 250°С. Видно, что при 200°С на диаграмме растяжения присутствуют зубцы. Такое скачкообразное изменение нагрузки носит название эффекта Портевена – Ле Шателье, а в основе этого явления лежит процесс динамического деформационного старения, обусловленный взаимодействием точечных дефектов (примесных атомов) с дислокациями. Температура 250°С лежит выше температурного интервала ДДС (100 - 230°С) кривая течения является гладкой, зубцы и скачки нагрузки отсутствуют.

#### Заключение

Для деформационных экспериментов с использованием миниатюрных высокооблученных образцов разработаны и созданы малогабаритные низкотемпературная и высокотемпературная камеры, позволяющие выполнять фото и видеозапись состояния поверхности деформируемого образца. Камеры позволяют выполнять эксперименты на сжатие растяжение и в перспективе на индентирование образцов в интервале температур, от 500°С до -185°С. Предварительные эксперименты, выполненные на стальных образцах вырезанных в «горячей» камере из стенок чехлов отработанных тепловыделяющих сборок реактора БН-350, показали работоспособность камер и позволили выявить целый ряд особенностей деформации облученной нейтронами стали при температурах отличных от комнатной.

# ТӨМЕН ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ СЫНАУ КАМЕРАЛАРЫН ЖАСАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ СӘУЛЕЛЕНДІРІЛГЕН МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ-ПЛАСТИКАЛЫҚ МІНЕЗІН ЗЕРДЕЛЕУ ҮШІН ҚОЛДАНУ

Рыбин С.В., Максимкин О.П., Гусев М.Н

#### ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

185°С тен 300°С дейін температураларда «Instron 1195» әмбебап сынау машинасының эксперименттік мүмкіндіктерін едәуір кеңейтетін, радиактивті үлгілерді созуға және сығылуға механикалық сынаулар өткізуге мүмкіндік беретін, арнайы әзірленген температуралық камералардың құралымдық ерекшеліктері қарастырылған. 12Х18Н10Т тоттанбайтын болаттың беріктігі мен пластикалылығының сипаттамаларына сынау температурасының әсеріне салыстырмалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

# **CREATION TEST IS LOW – AND HIGH-TEMPERATURE CELLS AND THEIR APPLICATION FOR STUDYING OF DEFORMATION-PLASTIC BEHAVIOUR OF THE IRRADIATED MATERIALS**

#### S.V. Rybin, O.P. Maksimkin, M.N. Gusev

# Institute of nuclear physics NNC RK, Almaty, Republic of Kazakhstan

Design features of specially developed temperature cells are considered, allowing to conduct mechanical tensile and compressive testing of radioactive samples at temperatures from -185°C to 300°C essentially expanding experimental capabilities of the universal testing machine «Instron 1195». Results of comparison tests of influence of temperature of test for characteristics of strength and plasticity of 12Cr18Ni10Ti stainless steel are adduced.

# СОЗДАНИЕ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ПРОБЛЕМАМ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Уханов С.В., Цай Е.Е., Кривцов П.Ю.

#### Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

Цель создания интеллектуальной информационной системы внедряемой в Национальном ядерном центре Республики Казахстан обеспечить эффективное использование существующих информационных ресурсов, повысить экономическую эффективность предприятия. Система будет представлять собой портальную систему, объединяющую в себе функции внутреннего и внешнего документооборота предприятия РГП НЯЦ РК и базы знаний по науке и атомной энергетике. Принято решение реализовывать портальную систему на базе SharePoint Portal Server и .NET технологии используя для разработки необходимой функциональности языки платформы NET, в частности С# для разработки ASP.NET приложений. Устойчивость и эффективность проекта заключается в исключительной гибкости и расширяемости портальной системы в будущем учитывая рост как информационных потребностей пользователей системы, так и рос объёмов информации по проектам в которых принимает участие предприятие. Система разрабатывается на основе наиболее мощной и эффективной технологии.NET, что обеспечивает возможность разработки крупномасштабного проектов.

#### Введение

В современном мире информационные технологии являются неотъемлемым атрибутом любых научных и прикладных исследований, проводимых на современном технологическом уровне. Своевременное следование общемировым тенденциям в области информатизации и компьютерной обработки данных дает возможность перспективного развития наукоемких технологий в области атомной промышленности, повышает производительность выполняемых работ на предприятиях отрасли, помогает информировать мировое сообщество о последних научных достижениях с помощью глобальной мировой сети. Организация механизма накопления и систематизации научных и технических знаний является важной составляющей в подготовке кадров для атомной отрасли, обмене данными с другими научными организациями и рациональном использовании аккумулированных данных.

Рано или поздно руководство любой компании сталкивается с проблемой систематизации информации и автоматизации внутренних бизнес-процессов. Если на начальном этапе развития организации возможна ситуация, когда сотрудники компании используют стандартные офисные приложения, а руководство компании при принятии решения руководствуется собственной интуицией, то со временем рост объемов данных ставит перед компанией задачу создания единой информационной среды, охватывающей все аспекты хозяйственной деятельности предприятия. Корпоративная информационная система - это инструмент, который позволяет организации функционировать эффективно.

Основная информационная проблема предприятия – невозможность аккумулирования знаний, получаемых в процессе научной и инженерно-технической работы сотрудников. Проблема сохранения знаний после перехода сотрудника на другое направление работ, либо другое место работы решиться при внедрении на предприятии данной информационной системы.

Цель данной работы – разработка решения о модулях информационной системы, исследование актуальных проблем хранения информации на предприятии, моделирование предметной области с помощью современных средста моделирования, что позволит существенно сократить время на разработку путём распределения работы между отдельными программистами. Внедрение интеллектуальной информационной системы в Национальном ядерном центре Республики Казахстан поможет обеспечить эффективное использовасуществующих информационных ресурсов, ние повысить экономическую эффективность предприятия. Система будет представлять собой портальную систему, объединяющую в себе функции внутреннего и внешнего документооборота предприятия РГП НЯЦ РК и базы знаний по науке и атомной энергетике. Принято решение реализовывать портальную систему на базе SharePoint Portal Server и .NET технологии используя для разработки необходимой функциональности языки платформы NET, в частности С# для разработки ASP.NET приложений. Основной концепцией информационной системы является механизм web-parts - настраиваемых программных модулей интегрированных в портал «База знаний» и объединяющих разнородные информационные ресурсы предприятия.

Принято решение реализовывать портальную систему на базе SharePoint Portal Server и .NET технологии используя для разработки необходимой функциональности языки платформы NET, в частности С# для разработки ASP.NET приложений. Основной концепцией информационной системы является механизм web-parts – настраиваемых программных модулей интегрированных в портал «База знаний» и объединяющих разнородные информационные ресурсы предприятия.



Рисунок 1. Инфраструктура программной платформы

Инфраструктура системы обеспечит поддержку следующих типов данных:

• Реляционные базы данных (MS Access, MS SQL, MySQL и т.п.) Представляет данные в табличной форме в формате определённом пользователем с определёнными правами посредством механизма SQL-запросов. Используемые технологии ADO.NET, OLEDB, ODBC, LINQ. Используемые подключения SQLDataSourse, AccessDataSourse, LINQDataSourse.

• XML источники данных подключение данных в формате XML. Используемые подключения – XMLDataSourse, LINQDataSourse.

• MS Office документы публикация документов, коллективная работа с документами, механизм документооборота.

• Мультимедийная информация видеофайлы, графические файлы.

# Среда и язык разработки

**Платформа** .NET Framework – это интегрированный компонент Windows, который поддерживает создание и выполнение нового поколения приложений и веб-служб XML. При разработке платформы .NET Framework учитывались следующие цели.

- Обеспечение согласованной объектно-ориентированной среды программирования для локального сохранения и выполнения объектного кода, для локального выполнения кода, распределенного в Интернете, либо для удаленного выполнения.
- Обеспечение среды выполнения кода, минимизирующей конфликты при развертывании программного обеспечения и управлении версиями.
- Обеспечение среды выполнения кода, гарантирующей безопасное выполнение кода, включая код, созданный неизвестным или не полностью доверенным сторонним изготовителем.
- Обеспечение среды выполнения кода, исключающей проблемы с производительностью сред выполнения сценариев или интерпретируемого кода.
- Обеспечение единых принципов работы разработчиков для разных типов приложений, таких как приложения Windows и веб-приложения.

 Разработка взаимодействия на основе промышленных стандартов, которое обеспечит интеграцию кода платформы .NET Framework с любым другим кодом.

С# – объектно-ориентированный язык программирования. Разработан в 1998—2001 годах группой инженеров под руководством Андерса Хейлсберга в компании Microsoft как основной язык разработки приложений для платформы Microsoft .NET. С# относится к семье языков с С-подобным синтаксисом, из них его синтаксис наиболее близок к С++ и Java. Язык имеет статическую типизацию, поддерживает полиморфизм, перегрузку операторов (в том числе операторов явного и неявного приведения типа), делегаты, атрибуты, события, свойства, обобщённые типы и методы, итераторы, анонимные функции с поддержкой замыканий, LINQ, исключения, комментарии в формате XML.

Visual Studio 2008 – продукт компании Майкрософт, включающий интегрированную среду разработки программного обеспечения и ряд других инструментальных средств.

# Описание функциональных модулей разрабатываемой системы

# WEB-часть SPS База специалистов по атомной энергетике

Основным назначением данного модуля является обеспечение возможности ведения личной информации пользовователям системы по следующим категорям:

- Биографические данные(дата и место рождения, краткая автобиография и т.п.)
- Образование (ВУЗ, учёная степень, годы обучения),
- Карьера или трудовая биография (места и период работы, занимаемые должности)
- Контактная информация (адреса, телефоны, информация о подразделении предприятия),
- Список работ, публикаций, проектов в которых принимал участие пользователь, степень его участия в проектах.

# Требуемая функциональность:

1. Пользователь системы должен иметь возможность редактировать личные данные посредством интерактивных web-интерфейсов;

2. Пользователь должен иметь возможность размещать свои научные публикации, разработки, патенты. Иметь возможность указывать на своё участие и его степень в научных проектах, инженерных разработках.

3. Пользователь должен обладать возможностью поиска пользователей системы, проектов, научных разработок посредством эргономичных, интуитивно понятных интерфейсов.

4. Пользователь должен иметь возможность по желанию интегрировать определённые функцио-

нальные модули приложения в различные области свой личной страницы портала SP.

5. Пользователь должен иметь возможность ограничивать доступ к размещаемым докуметам, распределять права доступа различным группам и аудиториям SP.

6. Приложение должно соответствовать современным стандартам, отличаться высокой динамичностью и интерактивностью.

## Структура приложения

Приложение является неотъемлемой частью системы и интегрировано со следующими системами:

- Active Directory контроллер домена. Хранение учётных записей пользователей, идентификационных данных пользователей, хранение групп.
- Фото-архив (галерея НЯЦ) фотографии имеют возможность связывания с проектами, пользователями, разработками системы.

- Web-часть «Система контроля и статистики»

   на основе «База специалистов атомной энергетики» и других источников данных представляет информацию о рейтингах пользователей системы и проектов.
- Система поиска информации: система поиска по базе знаний.
- Единый модуль архива организационной и технической документации: система коллективной работы с документами реализованая средствами SPS.

Определены основные классы приложения, атрибуты классов, свойства классов, что позволяет получить представление о требуемой функциональности приложения, структуре объектного дерева приложения, наследовании объектов и взаимосвязи между ними.



Рисунок 2. UML диаграмма классов приложения «База специалистов Атомной отрасли»



Рисунок 3. IDEF0 модель системы

Разработана IDEF0 модель системы ведения НСНТИ, функциональным элементом которой является web-часть «База специалистов по атомной энергетике». Предполагаемые интерфейсы системы

Данный вариант интерфейса позволяет пользователям редактировать личную информацию, указывать проекты, в которых специалист принимал участие, вести трудовую биографию, вести данные об образовании, вести учёт своих публикации.

Уханов Сергей Владимиро Отдел Информационных Т Национальный ядерный це	ивич Правиа ехнологий Правка интр РК Правка	
Инженер программист 🏾	Редактирование	
1987.02.04 Тео вн 188	Уханов Фото	1987.02.04
Тел. моб. 705 911 68 02	Сергей	188
	Владимирович	87059116802
Краткая биография	РГП НЯЦ РК	
	ОИТ РГП НЯЦ РК 💟 Идёт сохране	ение данных
	Инженер програмі	
	Краткая биография	

Рисунок 4. Редактирование личных данных пользователя. Модуль локального администратора

Этот тип интерфейса предлагается загружать пользователю по умолчанию при переходе по команде «Изменить мои личные данные». Пользователи однозначно идентифицированы в системе с помощью механизма авторизации Active Directory, имеют возможность редактировать только личные данные в системе, с возможностью указания соавторов публикаций, соучастников в патентах и проектах.

На основе данных внесённых пользователем ведётся построение основного поискового интерфейса (основного интерфейса web-части «База специалистов Атомной отрасли»), интегрируемого в основной интерфейс пользователя (шаблон для позиционирования web-частей).

Интерактивный поисковый интерфейс используется для поиска и просмотра необходимой

информации в в асинхронном режиме что позволит сэкономить время на поиск информации, обеспечит наилучшую интерактивность web-части.

Поисковый интерфейс является интерфейсом по умолчанию при интеграции в страницу пользователя системы и в дальнейшем позволит пользователю получать актуальную информацию как о специалистах в области атомной энергетики в республике Казахстан так и о научных проектах и разработках казахстанских учёных и специалистов.

Данный интерфейс доступен пользователям с наличием определённых прав доступа. Позволяет вести информацию проекта, хранить список лиц участвующих в проекте, ссылаться на публикации и патенты по проекту, вести отчётную документацию по проекту.

Поиск по про	ректам	Кривцов Павел Ю Заместитель начи Автоматизация и телефон - 122	престривцов пло прыевич 1978 г.р. альника ОИТ и управление	5	
Имя Павел Светлана	Фамилия Кривцов Кривцова	Проекты в которых г <u>Устрановка по пе</u> <u>КТМ. Материалов</u> и	принимал учасите г реработке Натрия, едческий реактор	пользователь (УПН)	
		Название	Направление	Издание	Год
		Система управления	Инженерное	Вестник НЯШ	2001

Рисунок 5. Интерактивный поисковый интерфейс системы «База специалистов»

Редактировать мои данные



Рисунок 6. Редактирование информации по проекту

# **Web-часть «Система контроля** и статистики»

**Назначение:** основное назначение данного функционального модуля рассылка уведомлений об определённых событиях в системе:

- Размещение новых статей, документов, изменение свойств проектов, патентов, уведомления о назначениях.
- Формирование статистики по определённым областям знания, степень занятости сотрудников того или иного отдела в научных проектах.
- Рейтинги сотрудников основанные на колличестве научных публикаций и патентов, разработок и участия в проектах предприятия.
- Дополнительное назначение данного модуля

   информационное средство стимулирования
  пользователей системы, пробуждающее в
  пользователях заинтересованность в заполнении информационных массивов информационной системы предприятия.

# Требуемая функциональность:

1. Пользователь должен автоматически получать уведомления о внесении изменений в проекты, в которых пользователь принимает непосредственное участие, обновлении отчётной документации по проекту.

2. Модуль должен формировать графические графики, основанные на рейтинге пользователей, проектов, областей знаний информационной системы.

3. Пользователь должен иметь возможность сохранять параметры статистики по определённому разделу знания для отслеживания значимых событий в системе.

4. Пользователь должен иметь возможность по желанию интегрировать определённые функциональные модули приложения в различные области свой личной страницы портала SP.

5. Пользователь должен иметь возможность настройки получения уведомлений об определённых событиях в системе.

6. Вся статистика система должна вестись автоматически без влияния администратора системы.

7. Данный модуль должен вести журналы событий системы, что обеспечит в случае программных сбоев более быстрый поиск и устранение проблем.

# Web-часть «Модуль регистрации пользователей» (возможность интеграции с Active Directory);

Назначение данного модуля: данный модуль является комплексом классов и функций организующих управление пользователями системы ведения корпоративной НТНСИ и распределения прав доступа на объекты системы путём интеграции с контроллером домена предприятия.

**Требуемая функциональность**: модуль регистрации пользователей должен обеспечивать следующую функциональность:

- Администраторы системы должны иметь возможность удалённо посредством webинтерфейса управлять пользователями и группами системы ведения корпоративной НТНСИ, интерфейс администрирования необходимо снабдить функциями аналогичными функциям ведения AD.
- Система регистрации должна обеспечивать регистрацию новых пользователей системы, а в случае отсутствия учётной записи на контроллере домена, отправлять новые данные на утверждение уполномоченным лицам и в случае прохождения проверки сохраняться в Active Directory.
- Пользователи должны обладать гибкими правами на распределение доступа к объектам и функциональным модулям информационной системы.
- Пользователи должны обладать возможностью смены учётной записи, сохранения переменных сеанса во избежание повторной аутентификации.

# Необходимые модули для разработки (System.

DirectoryServices: DirectoryEntry, DirectorySearcher) AD WEB-Manager module – модуль ориентирован на управление данными AD посредством web-интерфейса. Включает в себя сле-

дующие функции: <u>Функции работы с доменами</u> (nnc.local,iae.local, irse.local) распределение пользователей Active Directory по доменам, группам в доменах, отноше-

ния между доменами. <u>Функции работы с учётными записями Active</u> <u>Directory</u>: добавление нового пользователя, удаление пользователя, редактирование данных пользова-

теля, перемещение пользователя. <u>Функции работы с локальными группами Active</u> <u>Directory</u>: добавление группы, редактирование данных группы, удаление группы, перемещение группы.

Функции для работы с «буфером ожидания»: утверждение пользователей на внесение в AD.

**AD WEB - authorization module** – набор функций отвечающий за авторизацию в системе ведения НТНСИ. Включает в себя следующие модули:

Функции авторизации пользователей Active Directory(автомат.): поиск в AD, комплексная аутентификация (Single Sign-On).

**AD WEB - registration module** – модуль ориентирован на регистрацию личных данных пользователей. Включает в себя следующие функции.

<u>Функции верификации данных пользователя</u>: проверка данных на актуальность, контроль от вредоносного воздействия включений программного кода. <u>Функции передачи данных в «буфер ожидания»</u>

**AD WEB security module** – модуль отвечает за распределения прав доступа к объектам и функциональным элементам системы ведения корпоративной НТНСИ.

<u>Функции управления доступом:</u> настройка доступа к специфическим типам объетам, комплексные разрешения (роли), централизованное администрирование доступа к объектам системы.

## **Web-часть «Поисковый модуль»**

Назначение данного модуля: данный модуль обеспечивает поиск информации по:

- Поиск по личным параметрам пользователя.
- Поиск по научным работам и публикациям, проектам.
- Поиск по организационной, технической и нормативной документации(отчёты о НИР Ии ОКР).
- Поиск по определённым областям знания, статьям wiki-модуля.
- Поиск по ключевым словам карточек объектов.

**Требуемая функциональность:** модуль поиска должен обеспечивать следующую функциональность:

Пользователю должен предоставляться интуитивно понятный интерфейс, обладающий интерактивными возможностями: механизм «автозаполнение», контроль результатов.

Поисковый механизм должен обладать мощными функциями контроля параметров запроса, во избежание выдачи пользователю некорректных результатов.

Механизм формирования результатов запроса пользователя должен выводить результаты в порядке актуальности запросов по данной теме, либо по логической схеме соответствующей тематике запроса.

## Заключение

В результате выполненной работы по проектированию информационной системы имеются следующие результаты:

- Определено информационное обеспечение будущей системы: программно-аппаратная платформа, СУБД, язык разработки.
- Исследована предметная область, определены информационные потребности пользователей.
- Определены способы интеграции разнородных информационных ресурсов в единую систему
- Проведена оценка возможности расширения функциональности системы.
- Разработаны предполагаемые варианты интерфейса программных модулей информационной системы
- Разработан комплекс UML-диаграмм для описания структуры программного кода и поведения системы на различных этапах жизненого цикла.

Таким образом можно утверждать что для этапа разработки разработки программного обеспечения создана необходимая документация, рекомендации, подобрано информационное обеспечение, требования и правила, которым должен удовлетворять конечный программный продукт. Моделирование проводилось с учётом специфики и информационных потребностей пользователей предприятия.

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. Либерти, Д. Создание .NET приложений Программирование на С# / Д. Либерти М. : Символ плюс, 2003 г. 690 с.
- 2. Кватрани, Т. Rational Rose 2000 и UML. Визуальное моделирование / Т. Кватрани М. : ДМК, 2001 г. 176 с.
- 3. Кристиан, Н. С# 2005 и платформа .NET 3.0 для профессионалов / Н. Кристиан, Д. Скиннер- М. : Вильямс, 2008 г. -
  - 1376 c.

4. Сандерсон, С. МVC framework с примерами на С# для профессионалов / С. Сандерсон – М. : Вильямс, 2010 г. – 560 с.

# ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСЫН ДАМЫТУ МӘСЕЛЕЛЕРІ БОЙЫНША КОРПОРАТИВТІК АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ ҚҰРУ

# Уханов С.В., Цай Е.Е, Кривцов П.Ю.

#### Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов

Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығына енгізілетін зияткерлік ақпараттық жүйе құрудың мақсаты қолда бар ақпараттық ресурстарды тиімді пайдалануды қамтамасыз ету, кәсіпорынның экономикалық тиімділігін арттыру болып табылады. Жүйе ҚР ҰЯО РМК кәсіпорындарының ішкі және сыртқы құжат айналымының қызметін және ғылым мен атом энергетикасы бойынша білім негіздерін біріктіретін порталды жүйе болмақ. Порталды жүйені SharePoint Portal Server және NET технология негізінде, қажетті функционалдықты әзірлеу үшін NET платформасының тілдерін, атап айтқанда ASP.NET қосымшаларын әзірлеу үшін С# қолдана отырып жүзеге асыру туралы шешім қабылданды. Келешекте жүйе пайдаланушыларының ақпараттық қажеттіліктерінің артуын және кәсіпорын қатысатын жобалар бойынша ақпарат көлемінің ұлғаюын ескерер болсақ, жобаның тұрақтылығы мен тиімділігі порталды жүйенің қолайлылығында және кеңейтілетіндігінде. Жүйе анағұрлым қуатты және тиімді NET технологиясының негізінде әзірленуде, бұл ірі ауқымды жобаларды әзірлеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

# DEVELOPMENT OF CORPORATE INFORMATION SYSTEM ON PROBLEMS OF NUCLEAR POWER ENGINEERING OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

#### S.V. Ukhanov, E.E. Tsay, P.Yu. Krivcov

## National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

Intelligence information system purpose introduced in National Nuclear Centre of the Republic of Kazakhstan is to provide the effective use of existing information resources, to increase the economic efficiency of the enterprise. The system will represent the portal system uniting function of internal and external document management control of RSE NNC RK enterprise and knowledge bases on a science and nuclear power engineering. The decision was made to realize the portal system on the basis of SharePoint Portal Server and .NET technologies using for development of necessary functionality languages of NET Platforms, in particular C # for working out ASP.NET application. Stability and efficiency of the project consists in exclusive flexibility and expansibility of portal system in the future considering the growth as information requirements of system users, and growth of information volumes under projects where enterprise takes part. The system is developed on a basis of most powerful and effective technology.NET that provides the possibility of large projects development.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИНЖЕКЦИИ ПРИМЕСНЫХ МЕССБАУЭРОВСКИХ АТОМОВ В ХОДЕ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

#### Бедельбекова К.А., Озерной А.Н.

#### Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

В данной работе предложен способ инжекции радиоактивных «меченых» атомов <sup>57</sup>Со в наноразмерные защитные металлические покрытия в ходе их формирования. Методом эмиссионной мессбауэровской спектроскопии проведено исследование процессов структурообразования в хромовых покрытиях, полученных электрохимическим осаждением из раствора на металлические подложки, с последующей термообработкой в вакууме. Установлено полное упорядочение на локальном атомном уровне кристаллической структуры хрома в покрытиях уже после отжига при 740°С.

#### Введение

В настоящее время методы мессбауэровской спектроскопии продолжают интенсивно развиваться и широко используются в различных областях физики, химии, геологии, минералогии, почвоведения, биологии, медицине, материаловедении и индустрии.

В основе методических особенностей мессбауэровской спектроскопии лежит впервые появившаяся возможность наблюдать сверхтонкую структуру  $\gamma$ -линий, вызванную взаимодействием ядра с внеядерными электрическим и магнитным полями. Мессбауэровское ядро является зондом, находящимся в твердом теле, с помощью которого можно изучать динамические свойства, структурное, валентное и зарядовое состояния мессбауэровского атома, а также фазовый состав, особенности атомной, кристаллической, магнитной и электронной структур исследуемого вещества.

Для мессбауэровской спектроскопии характерны разнообразие и богатство получаемой информации, которая зачастую не может быть получена другими методами.

Совокупность численных значений мессбауэровских параметров и их сочетание строго индивидуально для каждого химического соединения и фазы, что позволяет однозначно определять состав исследуемого образца.

Перечислим основные параметры мессбауэровского спектра и ту информацию, которую может "нести" в себе каждый из параметров:

Интенсивность (площадь) мессбауэровского спектра. В случае "тонкого образца", когда справедлив принцип суперпозиции, интенсивность мессбауэровского спектра может быть использована для проведения качественного и количественного фазового анализа вещества, а также для получения данных об атомном распределении по неэквивалентным позициям в веществе.

Сдвиг мессбауэровской линии позволяет идентифицировать валентное состояние атомов, получать информацию, с одной стороны, о фазовом составе исследуемого вещества, а с другой, - об особенностях электронной и кристаллической структур исследуемого соединения.

Квадрупольное смещение компонент спектра может дать полезную информацию как о симметрии ближайшего окружения мессбауэровских ядер и о числе неэквивалентных позиций, так и об электронной конфигурации и валентности атомов.

Сверхтонкое магнитное поле зачастую является самым чувствительным параметром к дефектам кристаллической структуры, примесным атомам, локальной неоднородности. Величина и направление сверхтонкого поля  $H_n$  несут в себе информацию об особенностях электронной и магнитной структур исследуемого объекта и могут быть использованы, в частности, для идентификации парциальных спектров и определения числа магнитных подрешеток.

Ширина компонент спектра может содержать в себе информацию о таких факторах, как неоднородность состава, отклонение от стехиометрии, нарушения структурного и магнитного упорядочения.

Эмиссионная мессбауэровская спектроскопия является чувствительным методом. Даже концентрации 10<sup>-4</sup> ат.% мессбауэровских атомов в образце достаточно, чтобы получать информацию о свойствах наноразмерных материалов.

В настоящее время широко практикуется получение тонких защитных покрытий электролитическим методом, который позволяет получать осадки различной структуры с разной легко регулируемой толщиной (от долей микрона до нескольких миллиметров) на металлических и неметаллических изделиях; осадки одного и того же металла с различными свойствами (твердые и мягкие, матовые и блестящие, различной окраски); сплавы металлов без применения высоких температур с разнообразными составом и фазовым строением.

Целью настоящей работы была реализация способа инжекции радиоактивных атомов <sup>57</sup>Со путём их электролитического соосаждения с основным материалом наноразмерных покрытий в ходе их формирования для эмиссионных мессбауэровских исследований процессов структурообразования на локальном атомном уровне. Наиболее подходящим материалом покрытий для исследований был выбран металлический хром. Электроосаждением его наносили на медные подложки, поскольку у хрома с медью наблюдается хорошая адгезия.

Рассмотрение литературы, посвященной процессу электроосаждения хрома из его сернокислых электролитов, показывает противоречивость взглядов по вопросу влияния модификационного состава сульфата хрома на процесс электролиза.

Так, Фузея и Сасако [1] считают, что электроосаждение хрома следует вести из растворов зеленого сульфата хрома, Маху - из фиолетового [2]. Иосида [3] не указывает модификационного состава сульфата хрома, однако путем длительной термической обработки при соответствующем режиме доводит его до определенного ионного состояния. Также следует отметить, что отсутствуют надежные методы контроля ионного состава сернокислых электролитов.

В зависимости от состава комплексов различают две модификации трехвалентного сульфата хрома (III) - фиолетовую и зеленую. Фиолетовый сульфат хрома в водном растворе образует гексааквокатионы  $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ , которые при 20-25°С медленно гидролизуются, изменяя свой состав [4]. При более высоких температурах (40 – 45°С) гидролиз заметно ускоряется и образуется зеленый сульфат хрома (III) зеленая модификация. Из фиолетовых растворов хром практически не осаждается, а из растворов зеленного сульфата хрома (3CX) - с очень низким выходом по току (BT<sub>Cr</sub> = 5-7 %). С более высоким выходом по току (до 35 - 40 %) хром осаждается из растворов "измененного" ЗСХ, который может быть получен при выдерживании ("старении") ЗСХ в течение 20-25 суток при 20-25°С [5]. Измененный ЗСХ более стабилен и длительное время сохраняет свой состав. Электрохимическое легирование кобальтом хромовых покрытий, осажденных из измененного ЗСХ, позволяет улучшить их защитные свойства.

Ранее электролитическое хромирование производилось из растворов хромовой кислоты с добавками в небольшом количестве серной кислоты. Этот процесс имеет существенные недостатки: низкий электрохимический эквивалент хрома, очень малый выход металла по току, вредность паров электролита и др. [6].

Согласно [7], был разработан сульфатный раствор с низким содержанием Сг(III) для получения пластичных хромовых покрытий с выходом по току 30-35 %. Предлагаемый состав раствора (г/л) и режим работы:  $Cr_2(SO_4)_3*6H_2O-25$ ,  $Na_2SO_4$  -100,  $H_3BO_3$  -25- 40, малоновая или щавелевая кислота - 7-10, содержащие ПАВ - 0.08-0.1, рН - 2.2-4.2, плотность тока - 2- 6 А/дм<sup>2</sup>. В работе требуется периодическая корректировка содержания ионов хрома и ПАВ.

# Экспериментальная часть

В представленной работе были выбраны растворы (г/л):  $Cr_2(SO_4)_3^*$  6H<sub>2</sub>O - 100;  $Na_2C_2O_4$  - 15;  $Al_2(SO_4)_3^*18$  H<sub>2</sub>O - 10;  $Na_2SO_4$  - 8; и режим работы :

pH= 1.1- 2.1; t= 35- 40°C. В отличие от борной кислоты, область буферирования которой приходится на область pH гидратообразования хрома в данном растворе, сульфат алюминия сообщает электролиту очень высокую буферность, которая должна обеспечить длительную устойчивость его работы.

Для осаждения покрытия  ${}^{57}$ Co:Cr в электролит вводили определенное количество  ${}^{57}$ Co. В качестве подложек использовалась медная фольга площадью 1 см<sup>2</sup>, подвергнутая обработке в 12 М HNO<sub>3</sub>, затем в дистиллированной воде.

Электролиз проводили в течение t = 10-15 мин., в интервале U = 4,9 - 5,1 V. Анодом служила платиновая пластина, а котодом - исследуемый образец. Активность образцов составила ~  $10\mu$ Ku.

Радиоактивный препарат безносительного хлорида кобальта, применявшегося в экспериментах, получали на изохронном циклотроне У-150 по ядерной реакции <sup>58</sup>Ni(p,2n)<sup>57</sup>Co, выделяя последний из никелевой мишени радиохимическими методами после ее облучения протонами.

Мессбауэровские измерения эмиссионных спектров как до, так и после отжига образцов осуществлялись на спектрометре MS-1104Em при комнатной температуре с использование резонансного детектора γ - квантов. Источником γ - квантов служил исследуемый образец. Обработка мессбауэровских спектров была выполнена с помощью программного комплекса MS Tools программой SPECTR [8].

Температура отжига варьировалась от 200°С до 580°С. После термообработки вместо ожидаемого одного пика, соответствующего эмиссионному спектру кобальта в хроме, получили дополнительный дублет с двумя несвязанными линиями (рисунок 1б).

С последующими отжигами (рисунок 1в), упорядочивающими структуру покрытия, интенсивность левого пика предполагаемого дублета уменьшилась, правого – увеличилась, что позволило предположить, что левый пик соответствует неупорядоченной структуре осажденного кобальта с хромом, а правый обусловлен проникновением атомов кобальта в медную подложку.

Для проверки предположения о природе возникновения правого пика была выбрана тугоплавкая подложка из молибдена с гораздо большей характерной энергией активации диффузии кобальта.

В результате на молибденовой подложке в процессе термообработки была получена одиночная линия, соответствующая атомам <sup>57</sup>Со в Cr (рисунок 2).

Поскольку наши предположения о диффузии <sup>57</sup>Со в подложку подтвердились, было решено предварительно на медную подложку наносить хромовое покрытие без примеси кобальта, так называемый буферный слой, и только затем проводить совместное осаждение <sup>57</sup>Со и Cr.



Рисунок 1. ЭМС <sup>57</sup>Со: Сг на подложке из меди

Хром осаждали вышеописанным способом. Время электролиза варьировалось от 3 до 5 мин. Образец высушивали и проводили повторный электролиз с добавлением в электролит <sup>57</sup>Со (t=15÷20 мин). Активность образцов составила ~  $10\mu$ Ku.

Затем покрытия были подвергнуты термообработке при различных температурах (T= 200-800 °C) в условиях глубокого вакуума (~ 10<sup>-6</sup> мм. рт. ст.).

Из литературы [9] известно, что полученные электролитическим осаждением образцы, содержат водород, который выделяется из хрома при температурах 250-500 °С. Нами были получены термодесорбционные спектры, которые показали, что весь водород выделяется уже при 250 °С

На начальном этапе атомы кобальта садятся в покрытие беспорядочным образом, т.е. могут занять место и вакансии, и междоузельного атома, и различных дефектов, поэтому мессбауэровский спектр <sup>57</sup>Со в хромовом покрытии до отжига имеет неразрешенную уширенную линию сложной формы (рисунок 3а). С каждым последующим отжигом атомы кобальта проникают в покрытие хрома.

На спектрах это прослеживается постепенным преобразованием сложного спектра в единственную синглетную линию (рисунок 36,в), с изомерным сдвигом, характерным для примесных мессбауэровских атомов <sup>57</sup>Со в хроме.



*Рисунок 2. ЭМС Со<sup>57</sup>: Сг на подложке из молибдена* N, %



Рисунок 3. Эмиссионный спектр <sup>57</sup>Со на подложке из меди с хромовым покрытием

Наличие единственной синглетной линий говорит о том, что атомы кобальта замещают атомы хрома в покрытии, образуя некий ближний порядок.

## Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Предложен способ инжекции радиоактивных «меченых» атомов <sup>57</sup>Со в наноразмерные защитные металлические покрытия в ходе их формирования

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. Fuseya, G. /G. Fuseya, O. Sasaku//Trans. Elektrochem.Soc. -1931.-V.59.-P. 445
- 2. Maxy, W. / W. Maxy, M.F.M. El- Chandour//Werkstoffe und Korrosion.- 1959.- V.10. P.556
- 3. Iosida, T. /T. Iosida//Hem.Soc.Japan.Industr.Cem.Soc.- 1953 .- V.56. P.385
- 4. Лаврухина, А.К., Юкина Л.В. Аналитическая химия хрома. М.: Наука.- 1979.- 219с.
- Фаличева, А.И. Исследование процесса хромирования из электролитов, содержащих соединение хрома (III) и хрома (IV): автореф. докт. дис. Свердловск .- 1971. -48с.
- Кудрявцев, Н.Т. Исследования растворов сернокислого хрома для электролитического нанесения хромовых покрытий/ Пшилусски Я.Б., Потапов И.И. Изв-я ВУЗ-ов// Химия и химическая технология. -1962.- №4. -617-620с.
- 7. Едигарян, А.А. Осаждение хрома из разбавленных сернокислых растворов/ Едигарян А.А., Полукаров Ю.М.// Защита металлов.- 1996.- 32.- №4.- 504-508 с.
- 8. Русаков, В.С. Восстановление функций распределения сверхтонких параметров мессбауэровских спектров локально неоднородных систем./Русаков В.С. // Изв. РАН. Сер.физ.1999.- т.63.- №7.- 1389- 1396с.
- Гуляев, А.А.Исследование наводороживания электролитического хрома и сплава хром- кобальт. / Гуляев А.А., Спиридонов Б.А.// АЭЭ.- 2004.- №12.-20с.

# НАНОӨЛШЕМДІ МЕТАЛДЫҚ ЖАБЫНДАРДЫҢ ҚАЛЫПТАСУ БАРЫСЫНДА ҚОСПАЛЫҚ МЕССБАУЭРЛІК АТОМДАРДЫ ИНЖЕКЦИЯЛАУ ӘДІСТЕРІН ӘЗІРЛЕУ

### Беделбекова К.А., Озерной А.Н.

#### ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Осы жұмыста <sup>57</sup>Со радиактивтік «белгіленген» атомдарын наноөлшемді қорғауыш металдық жабындарға олардың қалыптасу барысында инжекциялау тәсілі ұсынылған. Эмиссиялық мессбауэрлік спектроскопия әдісімен ерітіндіден металды төсенішке электрохимиялық тұндырумен алынған, хромдық жабындарда құрылымдық пайда болу үрдістерін кейіннен вакуумда термоөңдеумен зерттеу жүргізілген. 740°С кезінде күйдіргеннен кейін жабындарда локальдық атомдық деңгейде хромның кристаллдық құрылымына толық реттеу белгіленді.

# DEVELOPMENT OF IMPURITY MESSBAUER ATOMS INJECTION METHODS DURING FORMATION OF METAL NANO- COATINGS

# K.A. Bedelbekova, A.N. Ozernoy

# Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

This paper describes the method of radioactive "labeled" <sup>57</sup>Co nuclei injection on protective metal nano-coating in the process of their formation. With the use of Mossbauer spectroscopy the investigation of structure formation processes in chromium coatings produced by electrochemical deposition from the solution on metal substrates with the following thermal treatment in a vacuum was made. The complete ordering of crystal chromium structure in the coatings even after annealing at 740°C was determined at the local atomic level.

материалом покрытий 2. Установлено, что упорядочение кристаллической структуры хромового покрытия на локальном

путем электролитического соосаждения с основным

ской структуры хромового покрытия на локальном атомном уровне происходит уже при температурах около 700°С, в то время как для термодиффузионного внедрения атомов <sup>57</sup>Со в узлы решетки хрома требуются более высокие температуры: 1300-1400°С

### УДК 577.4:504.064:539.16:622.258.4

# ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ВОДОТОКОВ ИЗ ШТОЛЕН ГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН

#### Паницкий А.В., Магашева Р.Ю., Лукашенко С.Н.

#### Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты исследований поведения радионуклидов в компонентах экосистем радиоактивно-загрязненых водотоков. В результате исследований получены данные о характере радиоактивного загрязнения почвенного покрова, поверхностных вод и вод подруслового потока экосистем водотоков из штолен горного массива Дегелен. Показан характер пространственного распределения радионуклидов в данных компонентах экосистем водопроявлений из штолен.

#### Введение

Общий прогресс в развитии ядерной энергетики зависит от решения экологических проблем в области охраны природной среды от радиационного воздействия, связанного с полным ядерным топливным циклом (ЯТЦ). Последнее обусловлено тем, что на некоторых этапах ЯТЦ происходит высвобождение искусственных радионуклидов в окружающую среду. Наблюдается ускорение темпов миграции тяжелых естественных и искусственных радионуклидов, в том числе, в пищевых цепях. Таким образом, решение проблемы экологической безопасности работы всех предприятий ЯТЦ, тесно сопряжено с анализом радиационной обстановки, складывающейся на территориях, прилегающих к предприятиям ЯТЦ. Необходимо учитывать возможность аварийных ситуаций, когда может потребоваться принятие мер по ограничению перехода радионуклидов из компонентов окружающей среды в организм человека. Наибольшую опасность, в том числе и с точки зрения вторичного переноса радиоактивности, представляют отходы ядерной деятельности (ОЯД). Моделью сценария развития радиационно-опасных ситуаций, связанных с ОЯД, которые могут возникать в ходе функционирования предприятий ЯТЦ, в определенной степени могут служить экосистемы Семипалатинского испытательного полигона (СИП), в том числе экосистемы, подверженные влиянию радиоактивно-загрязненных водотоков – долины ручьев горного массива Дегелен.

# Методы и материалы

#### Объекты исследования

Объектом исследований являлись экосистемы водотоков, вытекающих из штолен № 176 и № 177. Выбор сделан на основании рекогносцировочных выездов и имеющихся данных о расходах водотоков штолен испытательной площадки "Дегелен", радионуклидной характеристики штольневых вод и загрязнении припортальных площадок. Основными изучаемыми компонентами исследуемой территории в представляемой работе выбраны луговые почвы и сопряженные с ними грунтовые и поверхностные воды.

#### Проведение полевых работ

Для получения количественных данных в долине ручьев горного массива Дегелен проведены экспедиционно-полевые работы по исследованию экосистем, подверженных влиянию радиоактивно-загрязненных водотоков. Полевые работы заключались в измерении радиационных параметров, описании местности, отборе проб окружающей среды, определении географических координат [1-7].

# Методология исследования почвенного покрова экосистем водотоков из штолен

Для получения количественных показателей, характеризующих уровень радиоактивного загрязнения почвенного покрова правого притока ручья Байтлес, выбрано на исследуемой территории и заложено 44 почвенных разреза, проведено описание почвенного профиля и отобраны образцы почв по генетическим горизонтам (рисунок 1, а). Разрезы составляют 9 створов, которые заложены перпендикулярно течению водотока или ручья. 15 разрезов, составляющих 5 первых створов (рисунок 1, б), характеризуют экосистему водотока шт. № 176. Остальные створы (створы VI–IX) находятся в нижней части правого притока ручья Байтлес, радиационное загрязнение которого обусловлено вышерасположенным водотоком.

В 5-и центральных разрезах экосистемы водотока шт. № 176 отобраны пробы по интервалам: 0-5, 5-10, 10-15 см.

Для радиационной характеристики почвенного покрова экосистемы шт. №177, находящейся в первом правом притоке ручья Узынбулак (для уточнения границ распространения радионуклидов <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>241</sup>Am и <sup>239+240</sup>Pu в почвах), заложен 31 разрез, составляющий 3 створа, расположенных перпендикулярно руслу водотока (рисунок 2). Первый створ начинается от портала штольни, второй находится после отвала, третий – в конце явно выраженного русла водотока. Далее после дамбы заложено в сухом русле водотока 4 разреза. В случаях достижения уровня подрусловых вод из разрезов отбирались пробы воды.



Рисунок 1. Схема расположения почвенных разрезов



Рисунок 2. Схема заложения почвенных разрезов, гидропостов и наблюдательных скважин (шт. 177)

Почвенные разрезы закладывались до почвообразующих пород, которые представлены рухляком (кора выветривания скальных пород) с отбором образцов почв по генетическим горизонтам для содержания радионуклидов. Для детальной радиационной характеристики был сделан отбор по 5-см интервалам, как с поверхности, так и в нижней части почвенного профиля от зеркала грунтовых вод и выше. Интервал между разрезами в створах достигает 1,5-2,0 м.

# Методология исследования поверхностных и грунтовых вод.

Исследования поверхностных вод изучаемых экосистем включает изучение гидрологического и гидрохимического режимов водотоков, а также изучение динамики концентрации радионуклидов в воде водотоков от выхода из штольни до его исчезновения.

#### Исследование гидрологического режима исследуемых водотоков

Наблюдения за гидрологическим режимом водотока шт. № 176 состояли из ежедневного измерения дебита поверхностного водотока на оборудованных гидропостах.

Наблюдения за гидрологическим режимом водотока шт. № 177 состояли из ежедневного измерения дебита водотока на оборудованных гидропостах, согласно схеме (рисунок 2).

# Методология исследования динамики концентрации радионуклидов в воде водотоков

Для изучения динамики концентрации техногенных радионуклидов в воде из водотока шт. №176 в точках выхода воды через каждые 3 дня отбирались пробы на <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, каждые 12 дней на <sup>239+240</sup>Pu. Из водотока шт. № 177 с оборудованных постов производился еженедельный отбор проб.

## Методология исследования распределения радионуклидов по водотоку от верховьев к низовьям

Для изучения пространственного перемещения радионуклидов с водой водотока шт. № 176 было заложен профиль – портал, навал, дамба, тт. 1/1-1/9) (рисунок 1, б). В каждой точке заложенного профиля отобраны пробы воды в 2-х кратной повторности с интервалом 2 месяца, для γ-спектрометрических и радиохимических анализов. Пространственное перемещение радионуклидов с водой водотока шт. № 177 изучалось посредством отбора проб на гидропостах.

#### Методология исследования концентрации радионуклидов в грунтовых водах экосистемы штольни № 177

Для определения радионуклидного загрязнения подземных вод в районе шт. № 177 в пределах экосистемы водотока выбраны точки для бурения наблюдательных скважин. Пробурено 4 скважины, 2 из которых определяют наличие притока радиоактивного загрязнения с вышележащих штолен в долине (скв.1) и выход потока от шт. № 177 в основное русло ручья Узынбулак (скв. 4). Скважины 2 и 3 показывают радионуклидное загрязнение в середине потока.

#### Радионуклидный анализ

Лабораторные анализы на содержание радионуклидов проводились в соответствии с методическими указаниями на поверенной лабораторной аппаратуре. Концентрации <sup>137</sup>Cs, <sup>241</sup>Am, <sup>60</sup>Co, <sup>152</sup>Eu, <sup>154</sup>Eu, <sup>40</sup>K, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th определяли по [8], содержание <sup>90</sup>Sr и <sup>239+240</sup>Pu – радиохимическим методом [9,10].

# Общее описание изучаемых экосистем

#### Общее описание экосистемы водотока штольни № 176

Исследуемая территория представляет собой левостороннюю часть долины, отделенную от основного русла небольшим вытянутым по течению повышением с обнажениями скальных пород. Ширина русла водотока от штольни, в основном, не превышает 1 м. Иногда на пути водного потока встречаются глыбы и плиты скальных пород. На расстоянии около 700-750 м от плотины в плоском русле, сложенном плитами гранита, постоянного стока воды нет. Но русло далее спускается уступом высотой до 3 м, где вода в случае полноводья спускается водопадом.

#### Общее описание экосистемы водотока штольни № 177

Исследуемая территория представляет собой правостороннюю часть притока долины ручья Узынбулак, отделенную от основного русла небольшим вытянутым по течению повышением и насыпью дороги. Ширина водотока шт. № 177, в основном, не превышает 1м. На пути водного потока встречаются навалы обломочного материала, где поток исчезает или его русло меняется. Кроме основного водотока у подножья гряды, где находится котловая полость обследуемой штольни, появляются небольшие родники, вода которых сливается в общий ручей. Расстояние от истока водотока шт. № 177 до основного русла ручья Узынбулак ≈ 650 м (рисунок 2). Штольня № 177 характеризуется наличием в настоящее время постоянного водотока (в первые годы наблюдений водопроявление было сезонным).

# Краткая радиационная характеристика изучаемых экосистем

### Краткая радиационная характеристика экосистемы водотока штольни № 176

Обследование показало, что основное радиоактивное загрязнение приурочено к руслу водотока шт. № 176 (рисунок 3).

Плотность потока  $\beta$  – частиц варьирует в пределах от фоновых значений 10 част/(мин\*см<sup>2</sup>) до 2700 част/(мин\*см<sup>2</sup>). Значение МЭД изменяется в пределах 0,13 – 23,9 мкЗв/ч.





Рисунок 3. Карты-схемы распределения плотности потока β-частиц и МЭД

# Краткая радиационная характеристика экосистемы водотока штольни № 177

Обследование показало, что основное радиоактивное загрязнение водотока шт. № 177 также отмечается по центральному руслу (рисунок 4). Плотность потока β – частиц варьирует в пределах от фозначений. не превышающих новых 10 част/(мин\*см<sup>2</sup>). до 1200 част/(мин\*см<sup>2</sup>). Значение МЭД изменяется в пределах 0,18-3,75 мкЗв/ч. Характер распределения гамма- и бета-излучающих радионуклидов аналогичен распределению в экосистеме шт. № 176 – гамма излучающие сосредоточены в верховье русла, бета-излучающие распространяются как вдоль русла от верховьев к низовьям, так и в поперечном руслу направлении. Измеренные значения плотности потока α-частиц не превысили предела обнаружения используемых средств измерений.

# Характер перераспределения у и *β* излучающих радионуклидов

Отношение значений ПП β- излучения к МЭД показывает, что в начале водотока из шт. 176 основным загрязнителем дневной поверхности являются гаммаизлучающие радионуклиды (рисунок 5). Далее происходит уменьшения их содержания по отношению к бета-излучающим радионуклидам. То же распределение наблюдается от центра русла ручья к берегам.

В экосистеме водотока шт. № 177 на всем протяжении основными загрязнителями являются бета-излучающие радионуклиды.

Данные отношения подтверждаются количественными данными, характеризующими распределение радионуклидов в почвах русел исследуемых водотоков, представленными далее.

# Краткая характеристика почвенного покрова

Исходя из полученных данных, можно отметить, что почвы 2-х участков обследования относятся к почвам лугового ряда. Растительный покров представлен луговым разнотравьем. Почвы маломощные, мощность почвенной толщи в русле не превышает 40-60 см, в береговой зоне – 20-40 см.



Рисунок 4. Карта-схема распределения плотности потока β-частиц и МЭД в экосистеме водотока штольни № 177



Рисунок 5. Характер перераспределения у и в излучающих радионуклидов (в)

#### Результаты и обсуждение

# Характер радионуклидного загрязнения почв экосистем водотоков из штолен

Характер площадного радионуклидного загрязнения почвы

В целом, установлено, что максимальные концентрации радионуклидов в поверхностном слое почвенного покрова исследуемых экосистем, в обоих случаях, отмечаются на удалении от порталов штолен и приурочены к зоне выхода водотоков из навала обломочного материала (рисунок 6). Далее происходит снижение концентрации радионуклидов, имеющее различный характер для разных радионуклидов – более плавное снижение наблюдается для <sup>90</sup>Sr, довольно резкий характер снижения для других радионуклидов. Обращает внимание более плавный характер уменьшения УА <sup>239+240</sup>Ри и <sup>241</sup>Ат по сравнению с <sup>137</sup>Сs. При меньших значениях УА <sup>239+240</sup>Рu, по сравнению с УА <sup>137</sup>Сs в почве у порталов, далее отмечается его большая миграционная способность, хотя ранее считалось что по миграционном способностям <sup>239+240</sup>Pu стоит в убывающем ряду после радионуклидов <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs. В нашем случае мы имеем убывающий ряд <sup>90</sup>Sr > <sup>239+240</sup>Pu > <sup>241</sup>Am > <sup>137</sup>Cs

На рисунке 7 обобщен характер распределения радионуклидов в почвах русла водотоков шт. № 177 и № 176 с удалением от порталов штолен. Кривые распределения относительных концентраций радионуклидов выражены в долях от максимальных значений, на различном расстоянии от русла.



Рисунок б. Распределение радионуклидов в почвах русел исследуемых водотоков



Рисунок 7. Характер распределение радионуклидов в луговых почвах исследуемых экосистем с удалением от порталов штолен (доли от максимальных концентраций в почвах исследуемых экосистем)

Кривая распределения <sup>137</sup>Сs и <sup>239+240</sup>Pu отражает резкое снижение концентрации радионуклидов с увеличением расстояния от портала штолен. Кривая, характеризующая распределение <sup>241</sup>Am, практически полностью повторяет кривую <sup>239+240</sup>Pu, что говорит о возможности оценки распределения последнего по руслам радиоактивных водотоков по концентрации <sup>241</sup>Am. Кривая распределения <sup>90</sup>Sr носит сглаженный характер относительно <sup>137</sup>Сs и <sup>239+240</sup>Pu, что говорит о его большей миграционной способности.

Такое обобщение результатов исследований водотоков штолен с водопроявлениями позволяет прогнозировать поведение радионуклидов в луговых почвах других экосистем водопроявлений из штолен горного массива Дегелен. На основании анализа кривых, описывающих поведение радионуклидов в горизонтальном направлении, можно прогнозировать, что на данном временном этапе <sup>137</sup>Cs не будет распространяться дальше 1,5 км от выхода на дневную поверхность, <sup>90</sup>Sr – не далее 2 км, <sup>239+240</sup>Pu может распространяться дальше, чем <sup>137</sup>Cs. Из этого следует, что подвижность радионуклида <sup>239+240</sup>Pu в почвах экосистемы водотока шт. № 177 выше, чем <sup>137</sup>Cs, и его перемещение происходит не только с поверхностными водами. Исследования последних лет по формам нахождения техногенных радионуклидов [11] показали, что в штольневых водах шт. №177  $^{239+240}$ Ри до 50-60% находится в водорастворимой форме, что объясняет его подвижность. С грунтовым потоком значительное количество  $^{239+240}$ Ри, как и  $^{90}$ Sr достигает основного русла ручья Узынбулак.

Распределение радионуклидов перпендикулярно руслам водотоков зависит от потока поверхностных и грунтовых вод, которые являются источниками за-



грязнения. Наибольшую зону распространения в экосистемах водотоков имеет <sup>90</sup>Sr в силу своей подвижности и растворимости. Его ширина распространения обусловлена как поверхностными водами, так и грунтовым потоком (рисунок 8). Поэтому его распространение определяется шириной долины и мощностью рыхлых отложений в ней.



Рисунок 8. а) - Поверхностное распределение радионуклидов (штольня № 176); 6) - Поверхностное распределение радионуклидов в створе IV-IV (шт. № 177)

Зона распространения <sup>137</sup>Cs, обусловлена только поверхностным затоплением и зоной инфильтрации из водотоков в пределах 10 м (рисунок 8). Распространение <sup>239+240</sup>Pu и <sup>241</sup>Am значительно шире, так как они подвижней в водонасыщенной среде.

# Характер формирования радионуклидного загрязнения вертикального почвенного профиля

В целом, вертикальное распределение радионуклидов в луговых почвах подчиняется общепринятым закономерностям, выявленным и на территории СИП [12], то есть отмечается снижение содержания с глубиной. Но есть свои особенности на различных участках в зависимости от местоположения относительно водоисточников. На рисунках 9-10 представлены обобщенные графики поведения радионуклидов на различных участках экосистем.

Из рисунка 9 видно, что в руслах водотоков исследуемых штолен концентрация <sup>137</sup>Cs в почвах размыта по почвенному профилю и имеет характер плавного уменьшения. В береговой зоне, на расстоянии около 2-3х метров от центрального русла (рисунок 9, б), отмечается более резкое снижение содержания <sup>137</sup>Cs с глубиной, чем в русле. Это можно объяснить процессами инфильтрации, происходящими в русле. Таким образом, распределение радионуклида <sup>137</sup>Cs в вертикальном почвенном профиле зависит от степени увлажнения, что обусловлено в условиях изучаемых экосистем удаленностью точек наблюдения от водотоков.



Рисунок 9. Характер распределения радионуклида <sup>137</sup>Cs в вертикальном почвенном профиле в центральном русле и береговой зоне (не более 2 метров от русла)

Количество <sup>90</sup>Sr, как в центральном русле, так и в береговой зоне с глубиной почвенного профиля уменьшается (рисунок 10). Характер распределения <sup>90</sup>Sr по профилю в русле и береговой зоне мало отличается, но в русле отмечаются более высокие значения в верхнем горизонте, что объясняется близостью источника загрязнения – радиоактивно-загрязненного водотока.



Рисунок 10. Характер распределения радионуклида <sup>90</sup>Sr в вертикальном почвенном профиле в центральном русле и береговой зоне (не более 2 метров от русла)

Характер распределения <sup>239+240</sup>Ри и <sup>241</sup>Ат в вертикальном почвенном профиле практически не различается. Около 95 % этих радионуклидов находится в верхнем почвенном слое (рисунок 10), а с глубиной до 25 см их содержание резко падает.



Рисунок 11. Характер распределения радионуклида <sup>239+240</sup>Ри в вертикальном почвенном профиле

Таким образом, наибольшее распространение в вертикальном почвенном профиле характерно для  $^{90}$ Sr, менее значительно распространяется,  $^{239+240}$ Pu, наименее подвижным в почво-грунтах являются  $^{241}$ Am и  $^{137}$ Cs.

Вертикальное распределение основных техногенных радионуклидов в водонасыщенной почвенногрунтовой толще центральной части экосистемы водотока шт. №177 подтверждает наибольшее распространение <sup>90</sup>Sг (рисунок 12). Высокая УА <sup>239+240</sup>Pu в почвах отмечается до глубины 90 см (>1000 Бк/кг. Такая высокая подвижность <sup>239+240</sup>Pu объясняется, как и в случае с горизонтальным распространением, тем, что в штольневых водах шт. №177 <sup>239+240</sup>Pu до 50-60% находится в водорастворимой форме [11].



Рисунок 12. Вертикальное распределение радионуклидов в почвах русла водотока штольни № 177

Характерные особенности радиоактивного загрязнения поверхностных вод экосистем водотоков из штолен горного массива Дегелен

Механизмы поведения радионуклидов в поверхностных водах исследуемых водотоков из штолен

Исследования поведения радионуклидов в поверхностных водотоках из штолен площадки "Дегелен" выявили закономерности перераспределения радионуклидов с водным потоком (рисунок 13). УА техногенных радионуклидов с удалением от портала штолен закономерно снижается. Кривые, описывающие снижение УА радионуклидов <sup>239+240</sup>Pu и <sup>137</sup>Cs в воде водотоков с удалением от портала, показывают резкое снижение по сравнению со сглаженными кривыми, представляющими поведение <sup>90</sup>Sr (рисунок 13).



Рисунок 13. Характер площадного распределения радионуклидов в поверхностных водах исследуемых экосистем

Также отмечена зависимость концентрации радионуклидов в воде водотока при выходе на дневную поверхность от дебита. УА <sup>90</sup>Sr в воде обоих водотоках при увеличении дебита снижается, но на штольне № 176 эта зависимость сильнее. На штольне № 176 коэффициент корреляции между дебитом водотока и концентрацией Sr составил r = -0,76, на штольне № 177 r = -0,42). Зависимость концентрации <sup>137</sup>Cs от дебита на каждом исследованном водотоке проявляется по-разному. На штольне № 176 явно выраженной зависимости концентрации от дебита не наблюдается (r = 0,04), тогда, как на штольне № 177 проявляется прямая зависимость, то есть с увеличением расхода воды увеличивается УА <sup>137</sup>Cs (r = 0,88), как и <sup>239+240</sup>Pu (r = 0,87) (рисунок 14).

Такие противоречивые зависимости концентрации от дебита на исследуемых объектах могут быть результатом различных гидрогеологических особенностей исследуемых объектов. Вода из шт. № 176 в районе портала имеет одну точку выхода, представляющую собой отвод из полости штольни. Выход воды из шт. № 177 происходит не из одного места, так как здесь дренируется вся подошва сопки, в которой заложена штольня. Поэтому при увеличении дебита, в данном случае, может быть дополнительное поступление <sup>137</sup>Cs и <sup>239+240</sup>Pu с неконтролируемыми выходами воды.

# Распределение радионуклидов в системе поверхностные воды – грунтовые воды – почва

Соотношение содержания радионуклидов в различных средах, но в одном месте отбора, показывает, что наименьшие значения радионуклидов отмечаются в поверхностных водах (<sup>137</sup>Cs от 0, 41 до 68 Бк/кг, <sup>90</sup>Sr – от 9 до 155 Бк/кг), несколько больше в грунтовых водах (<sup>137</sup>Cs – от 57 до 480 Бк/кг, <sup>90</sup>Sr – от 155 до 270 Бк/кг) и максимальные значения в поверхностных горизонтах почв (<sup>137</sup>Cs от 5,1\*10<sup>4</sup> до 1,4\*10<sup>6</sup> Бк/кг, <sup>90</sup>Sr – от 9\*10<sup>3</sup> до 2,6\*10<sup>4</sup> Бк/кг) (рисунок 15).





Рисунок 14. Зависимость концентрации радионуклидов в воде исследуемых водотоков от дебита

Рисунок 15. Содержание радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в почвах, в поверхностных и грунтовых водах экосистемы водотока штольни № 176

Приведенные данные сопряженного анализа показывают различные величины содержания радионуклидов в поверхностных, грунтовых водах и почвах, что говорит о сорбции их почвой с одной стороны и о неравновесности их состояния в системе с другой.

На основании полученных данных об удельной активности в компонентах экосистем водотоков из штолен рассчитаны отношения удельной активности радионуклидов в воде водотока к удельной активности в почве с этой же точки (рисунок 16). Анализ отношений удельных активностей <sup>137</sup>Сs в этих средах, полученных вдоль водотока шт. № 176 от портала до места слияния с правым притоком р. Байтлес, показал, что большинство значений лежат в пределах 2-х порядков –  $n*10^{-4}$  и  $n*10^{-5}$ . Полученные отношения удельных активностей <sup>90</sup>Sr имеют сильную изменчивость в пределах одного порядка –  $n*10^{-3}$  (8 из 11 случаев) (рисунок 16, а). Дополнительно добавленные точки с водотока шт. № 177 и верховьев р. Байтлес картину не изменили (таблица 2).

T ( )	$\wedge$ $\rangle$	)		) ·	
Tanmua Z	( тношения удельной	активности пасион	іуклиаар в ваар к	<i>уаельной активности</i>	папионуклипов в почее
1 aostatya 2.	omnounemust yoenonou	and and be and the particular	<i>iyiciii</i> 0000 0 0000 k	yoenonou ananaonoenna	puonony and out of the

	<sup>90</sup> Sr				<sup>137</sup> Cs				<sup>239+240</sup> Pu			
	min	max	среднее	Ν	min	max	среднее	Ν	min	max	среднее	Ν
шт. 176	6,3*10 <sup>-5</sup>	1,6*10 <sup>-2</sup>	6,6*10 <sup>-3</sup>	11	1,8*10 <sup>-5</sup>	6*10 <sup>-4</sup>	1,5*10⁻⁴	11	-	-	-	-
шт. 177	5,4*10 <sup>-3</sup>	1,8*10 <sup>-2</sup>	8,6*10 <sup>-3</sup>	3	1,1*10 <sup>-₄</sup>	1,3*10 <sup>-3</sup>	7*10 <sup>-4</sup>	2	1*10 <sup>-4</sup>	8,1*10 <sup>-3</sup>	9,1*10 <sup>-4</sup>	2



Рисунок 16. Отношение удельной активности <sup>137</sup>Сs и <sup>90</sup>Sr в воде водотока штольни № 176 к удельной активности этих радионуклидов в почве

#### Выводы

• Установлено, что в начале водотоков основным загрязнителем дневной поверхности являются гамма-излучающие радионуклиды. Далее происходит уменьшения их содержания по отношению к бета-излучающим радионуклидам. То же распределение наблюдается от центра русла ручья к берегам.

• Установлено, что радионуклид <sup>239+240</sup>Pu, является подвижней, чем <sup>137</sup>Cs, как в случае горизонтального перемещения вдоль и поперек русла водотока, так и в вертикальном почвенном профиле. Миграция в пространстве <sup>137</sup>Cs ограничивается небольшим расстоянием и водным потоком. <sup>90</sup>Sr, как наиболее растворимый и подвижный в водной среде, значительно распространяется в пространстве и переносится на большие расстояния от источника загрязнения.

• Показана возможность оценки загрязнения радионуклидом <sup>239+240</sup>Ри почвенного покрова русел радиоактивных водотоков по удельной активности <sup>241</sup>Am.

• Отмечена зависимость концентрации некоторых радионуклидов в воде водотока при выходе на дневную поверхность от дебита.

• Различные величины содержания радионуклидов в сопряженных компонентах экосистемы (поверхностные воды - грунтовые воды – почвы), говорят о неравновесности их состояния в данной системе.

• Установлена возможность оценочного прогноза содержания радионуклидов в почве по удельной активности этих радионуклидов в воде.

# Литература

- 1. ГОСТ 24481-80. Вода питьевая. Отбор проб. Утв. 1980-29-12. № 6043. М.: Изд-во стандартов, 1993. -5 с.
- ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. Введ. 1984-01-07. // Сборник. Охрана природы. Почвы. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – С. 29-31.
- ГОСТ 17.4.4.02.84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. - Введ.1986-01-01. // Сборник. Охрана природы. Почвы. – М: Изд-во стандартов, 1998. –С.48-54.
- 4. ГОСТ 2726287. Корма растительного происхождения. Методы отбора проб. Введ. 1988-01-07. М.:: Изд-во стандартов, 1987.-С.9.
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): СП 2.6.1. 758-99; ввод. в действие 01.01.2000. – Алматы: Агентство по делам Здравоохранения РК, 1999. - 80с. – ISBN 9965-501-42-4.
- Методика определения почвенного радона с помощью прибора «RAMON-01» и его модификаций. Утв Гл. гос. врачом РК 1998-27-07. - Алматы: СОЛО ЛТД, 1998. -7с.
- 7. Методика измерения гамма фона территорий и помещений. Утв. Санэпидстанцией РК 1997-25-08. 4 с.
- Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма спектрометре: МИ 2143-91. - Введ. 1998-06-02. - Рег. № 5.06.001.98. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 1991. - 17 с.
- 9. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды. Введ. 1999. Рег. № 5.05.008.99.

- 10. СТП 17.66-92. Плутоний-238,239,240. Радиохимическая методика выделения из проб почвы и приготовления препаратов для альфа - спектрометрических измерений. Стандарт предприятия. Комплексная система управления качеством разработок.- Введ. 1993-01-02. – Санкт-Петербург: НПО "Радиевый институт им. В.Г. Хлопина", 1993. – 10 с.
- Радиоэкологические обследования, связанные с выполнением работ на объектах D1, D3, D5 и D2 бывшего Семипалатинского полигона: итоговый отчет о выполнении работ по контракту HDTRA1-08-G-0001/01/РИ / рук. Дубасов Ю.В. – СПб.: Радиевый институт им. Хлопина, 2008. - 43 с.
- 12. Эколого-биологические исследования почвенно-растительного покрова радиационно-загрязненных территорий. Изучение миграции радионуклидов по пищевой цепи за 2004-2006 г.г.: отчет ИРБЭ по теме 01.01.01.05.

# ДЕГЕЛЕҢ ТАУЛЫ МАССИВІНДЕГІ ШТОЛЬНЯЛАРДАН ШЫҚҚАН АҒЫН СУЛАР ЭКОЖҮЙЕСІНІҢ РАДИОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНЫҢ ӨЗІНДІК ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

#### Паницкий А.В., Магашева Р.Ю., Лукашенко С.Н.

#### КР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Бұл мақалада радиоактивті-ластанған ағын сулар экожүйесінің құрауыштарындағы радионуклидтердің әрекетін зерттеу нәтижелері ұсынылды. Бұл зерттеулердің нәтижесінде Дегелең таулы массивіндегі штольнялардан шыққан ағын сулар жүйесінің арнаасты ағын сулардың, жербеткі сулардың, топырақ жамылғысының радиоактивті ластану сипаты жайлы деректер алынды. Штольнядан шыққан тасқын сулар экожүйесінің аталған құрауыштарында радионуклидтердің кеңістіктегі таралу сипаты көрсетілді.

# **RADIOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ECOSYSTEM OF WATERCOURSE FROM THE TUNNELS OF DEGELEN MASSIF**

#### A.V. Panitsky, R.Y. Magasheva, S.N. Lukashenko

# Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This article presents the results of studying the radionuclides behaviour in radioactively contaminated watercourses in the ecosystem components. The studies provided data on the nature of the radioactive contamination of soil, surface waters and waters of stream underflow of watercourse ecosystems from tunnels of Degelen mountain massif. Also the article shows the character of the radionuclides spatial distribution in the ecosystem components of water inflow from the tunnels. УДК 621.039

# ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СНИЖЕНИЮ ДАВЛЕНИЯ В ПОЛОСТЯХ ОБЪЕКТА ЛИРА

Артемова В.А., Глущенко В.Н., Севериненко М.А., Кабдрахимова Г.Д.

## Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Проведена оценка воздействия на окружающую среду эксперимента по проведению отжига на скважине ТК-1 объекта ЛИРА. Качественная и количественная характеристики выбросов и максимальных значений приземных концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ определены типом и параметрами факельной установки и составом сжигаемой смеси. Описан радиационный контроль и регулирование выбросов в период неблагоприятных метеорологических условий.

#### Введение

После прекращения использования объектов ЛИРА в технологическом процессе Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения (КНГКМ) четыре полости остались заполненными загрязненным радионуклидами газоконденсатом общим объемом 64 тыс. т. и до настоящего времени находятся под давлением газа.

Ввиду того, что Оператором разработки КНГКМ в лице компании КПО б.в. в одностороннем порядке инженерный комплекс объектов ЛИРА исключен из технологической схемы нефтегазодобывающего комплекса КНГКМ, прекращены мероприятия по антикоррозионной защите оборудования объектов. Данная ситуация привела к ускорению коррозионных процессов оборудования. К настоящему времени техническое состояние оборудования объектов ЛИРА, по результатам мониторинга степени коррозии, не соответствует требованиям безопасной эксплуатации. Наиболее значимый риск в настоящее время связан с техническим состоянием запорной арматуры и инженерных сетей объектов.

Учитывая тот факт, что во времена эксплуатации данного объекта в результате сероводородной коррозии произошёл разрыв трубопровода на скв. ТК-2, а также и то, что в последнее время участились пропуски газа и конденсата в технологической обвязке, коррозионный износ оборудования может повлечь неконтролируемый выброс в окружающую среду загрязняющих компонентов.

В целях снижения рисков неконтролируемого выброса газа из полостей возникла необходимость изучения возможности и отработки технологии снижения давления в подземных ядерных полостях и оценка воздействия на окружающую среду при проведении данных работ.

В соответствии с п. 17.17 (b) Окончательного Соглашения о Разделе Продукции (ОСРП) по Карачаганакскому месторождению Институт ядерной физики должен проводить последовательные работы по снижению потенциальных рисков воздействия объектов ЛИРА на нефтегазовые операции на КНГКМ и окружающую среду. Согласно данным требованиям Институтом разработана программа эксперимента по отработке технологии безопасного контролируемого сброса давления в одной из подземных полостей объекта ЛИРА.

#### 1. Общие сведения об объекте ЛИРА

При освоении Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения с целью организации резервных емкостей в технологической схеме перекачки газового конденсата на газоперерабатывающий завод, по решению Правительства СССР в 1983-84 г.г. были созданы объекты «ЛИРА-1» и «ЛИРА-2» по специальной технологии с применением энергии ядерных взрывов. Объекты ЛИРА были обустроены, интегрированы в технологический процесс нефтегазового комплекса и эксплуатировались с 1991 по 1995 годы. Объекты ЛИРА представляют собой инженерное сооружение, включающее: шесть подземных полостей в соляной толще на глубине 800-900 м, технологические скважины, комплекс шлейфовых трубопроводов, технологические площадки и сеть наблюдательных скважин. Объекты ЛИРА расположены в северо-восточной части территории Карачаганакского месторождения.

# 2. Предпосылки для сброса давления в полости ТК-1

Подземные ядерные резервуары в течение 15 лет находятся под давлением газа. Результаты замеров устьевых давлений подтверждают стабильность геологических условий и герметичность полостей. В процессе эксплуатации объектов ЛИРА (1991-1996 г.г.) для проведения ремонтных работ проводились работы по сбросу газа из полостей.

С целью оценки состояния промышленной безопасности на КНГКМ в связи с объектами ЛИРА и прогнозируемых опасных ситуаций по запросу ДГП ИЯФ НЯЦ РК получено Заключение Управления по контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью ЗКО «о несоответствии технического состояния устьевого оборудования объектов ЛИРА требованиям Правил безопасности и законодательства РК» (Заключение № 06-19/4-609 от 14.03.08 «о состоянии промышленной безопасности объекта ЛИРА на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении»). Целью проведения эксперимента является разработка технологии безопасного контролируемого сброса давления газа из ядерной полости ТК-1 с небольшим объемом газа.

# 3. МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Отжиг газа из полости ТК-1 будет производиться на горизонтальной факельной установке – открытом амбаре с подачей газа под давлением в зону горения по горизонтальному факельному стволу (трубе), конструкция амбара обеспечивает выход горящего факела в атмосферу под углом 45°. Специально оборудованный амбар расположен в 150 м в южном направлении от устья технологической скважины ТК-1 (рисунок 1).

Учитывая специфичность условий подземной полости с ограниченным объемом газа, процесс его сжигания будет сопровождаться падением давления в полости и, следовательно, снижением скорости выхода газа из полости. Для определения оптимальных параметров отжига с учетом полного сгорания газа предусматривается регулирование подачи газа из полости задвижкой установленной на трубном отводе в сторону амбара. Давление газа при отжиге будет контролироваться по показаниям манометра, установленного на затрубном отводе. Выполнение работ по отжигу газа производится в соответствии с действующим на КНГКМ, документом системы управления ОТ, ТБ и ООС «Процедура проведения отжига углеводородного сырья на скважинах и трубопроводах на месторождении Карачаганак» КРО/HSE/PRO/201 [1].

Факельная установка относится к одиночным источникам загрязнения атмосферы, влияние которой на качество атмосферного воздуха регламентировано положениями раздела 2 ОНД-86 [2]. Источником выбросов вредных веществ является факел.



Рисунок 1. Схема амбара и отводной линии от амбарной задвижки

# 4. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗА ИЗ ПОДЗЕМНОЙ ПОЛОСТИ ТК-1

Цель выполнения работы – получение данных о выбросах загрязняющих веществ и оценка сложившихся и возможных явных и скрытых нарушений естественного состояния приземного атмосферного воздуха, обусловленных намечаемой деятельностью по отжигу газа на факельной установке из скважины TK-1 объекта ЛИРА.

Настоящая оценка воздействия намечаемой деятельности в соответствии с «Инструкцией по проведению оценки воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду при разработке предплановой, предпроектной и проектной документации», утвержденной министром охраны окружающей среды Республики Казахстан №68п, от 28 февраля 2004 г [3].

Качественная и количественная характеристика выбросов и максимальных значений приземных

концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ определяется типом и параметрами факельной установки и составом сжигаемой смеси.

Расчет параметров, необходимых для оценки загрязнения атмосферного воздуха производился согласно «Методики расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей» (утв. МООС РК пр.№23П от 30.01.2007) [4].

#### 4.1 Исходные данные

Параметры источника выброса и характеристики сжигаемого газа, необходимые для расчета загрязнения атмосферы представлены в таблице 1 и 2 соответственно.

Метеорологические параметры для расчета рассеивания загрязняющих веществ при проведении эксперимента по отжигу газа из ТК-1 представлены в таблице 3.

	Проектные характеристики факельной установки											
Участок	Наименование	Количество	Диаметр	Расстояние от	Расстояние от							
	источника	источников	выходного сопла	выходного	выходного сопла до							
				сопла до	противоположной							
				уровня земли	стены амбара							
		N, шт	d <sub>0</sub> , м	hг, м	l <sub>a</sub> , M							
TK-1	Факел	1	0,144	1,5	25							
		Расчетные ха	арактеристики фа	кельной устано	вки							
Дебит	Скорость	Массовый	Объемный	Высота	Диаметр факела	Температура						
выброса газа	истечения газа	расход	расход	источника		выбрасывае						
	из выходного	сбрасываемо	продуктов	выброса ЗВ в		мой в						
	сопла ФУ	го на ФУ газа	сгорания,	атмосферу		атмосферу						
			покидающих ФУ			ГВС						
Wv, [м³/сут]/	U, м/с	Wg, кг/ч	Wпр, м <sup>3</sup> /с	Нг, м	Dф, м	T, <sup>0</sup> C						
[M <sup>3</sup> /C]												
344.786/3.99	245.12	15872.23	298.53	4.7	4.8	1219						

#### Таблица 1. Параметры источика выброса

Таблица 2. Характеристики сжигаемого газа

		Проектные характер	истики сжигаемого газа				
Объем зака- чанного газа	Массовое содер- жание закачанно- го газа	Давление на устье технологической скважины	Состав сжигаемого газа				
W, тыс.м <sup>3</sup>	С, тыс. тонн	Р, атм	Компонент	% об			
196,9	167,365	22	C <sub>1</sub>	71,44			
			C <sub>2</sub>	6,02			
			C <sub>3</sub>	2,58			
			C <sub>4</sub>	0,48			
			С <sub>5+высшее</sub>	7,99			
			H <sub>2</sub> S	5,817			
			RSH	0,073			
			CO <sub>2</sub>	5,04			
			N <sub>2</sub>	0,56			
		Расчетные характер	истики сжигаемого газа				
Плотность газа	Условная моле-	Плотность влажного	Количество влажного	Количество продуктов сгорания,			
по объемным	кулярная масса	воздуха	воздуха, необходимого	образующихся при стехиометриче-			
долям	газа		для полного сгорания 1	ском сгорании 1 м <sup>3</sup> газа в атмосфе-			
			м³ газа	ре влажного воздуха			
рг, кг/м <sup>3</sup>	μг, кг/моль	р <b>вв, кг/м</b> <sup>3</sup>	Vвв, м <sup>3</sup>	Vпс, м <sup>3</sup>			
1,150	24,795	1,2	12,35	13,69			

Таблица 3. Метеорологические параметры для расчета рассеивания загрязняющих веществ

Наименование характеристик	Величина
Коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы, А	200,0
Коэффициент рельефа местности в городе	1,0
Средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, Т, С	22,0
Средняя температура наиболее холодного месяца, Т, С	-14,0
Среднегодовая роза ветров, %	
C	10,0
СВ	11,0
В	16,0
ЮВ	14,0
Q	15,0
ЮЗ	12,0
3	11,0
C3	11,0
Скорость ветра, повторяемость превышения которой по многолетним данным составляет 5%, м/с	12,0

# 4.2 Оценка химического загрязнения атмосферы при сжигании газа из подземной полости ТК-1

Для оценок мощности выбросов, оксида углерода, оксидов азота (в пересчете на диоксид азота), а также сажи в случае невыполнения условия бессажевого сжигания используются опытные значения удельных выбросов на единицу массы сжигаемого газа. Удельные выбросы остальных вредных веществ, образующихся за счет недожога определяются расчетным методом по стехиометрическому уравнению и составу газа. Валовые выбросы загрязняющих веществ определены из расчета удельного выброса на весь массовый объем сжигаемого газа.

Для оценки влияния выбросов вредных веществ на качество атмосферного воздуха, в соответствие с действующими нормами проектирования вновь создаваемых предприятий в Казахстане, используется математическое моделирование. Моделирование уровня загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами при эксплуатации оборудования выполнено по программе УПРЗА «Эколог» (версия 3.0), которая реализует основные зависимости и положения ОНД-86 [2].

Расчет проводился для летнего периода, как периода наименее благоприятных условий рассеивания [2] на площадках с размерами: 8000 х 8000 метров, шаг 200 х 200. Расчетными точками являются: точка максимальной концентрации, на расстоянии 3000м, 5000 м.

Для оценки воздействия отжига газа из ТК-1, при расчете рассеивания загрязняющих вещетсв в атмосфере, в качестве критерия экологической безопасности, использовались предельно-допустимые концентрации (ПДК) веществ для производственной зоны.

Результаты расчетов максимальных и валовых выбросов вредных веществ в атмосферу, а так же результаты рассеивания в точке максимума представлены в таблице 4. Концентрации сажи, метана и сероводорода составляют менее 0,01 ПДК и расчет их нецелесообразен. Критерий целесообразности расчета E3=0,01.

T (	0	~			```			1	```
Iannua 4	1 VMMANULIO	PLINDOCLI II	MARCHMARLUAG	vounoumnanna	onoduliv	oomormo a	nnn20munm	amunchanunu	parative
тиолици т	Cymmuphole	bbiopocoi u	максималопил	копцентриция	вреоныл	<i>bemeentb</i> b	npusemnom	ummocycphom	6030 yrc
,	~ 4			, ,		,	4	1 1	~

Ke -	Начилана ранила	Использ.	Значение	Класс	Удельные	Суммарны	й выброс	
код	паименование	критерий	критерия, мг/м <sup>3</sup>	опасности	выбросы (кг/кг)	г/с	т/год	Спиндк
301	Азот (IV) оксид (Азота диоксид)	ПДК с/с	5,0	2	0,003	12,237	0,502	0,0103
328	Углерод черный (Сажа)	ПДК с/с	4,0	3	0,002	8,825	0,335	0,0086
330	Сера диоксид	ПДК с/с	10,0	3	0,11	485,373	18,410	0,1889
333	Сероводород	ПДК с/с	3,0	2	0,000093	0,41	0,016	0,0005
337	Углерод оксид	ПДК с/с	20,0	4	0,02	88,25	3,347	0,0172
410	Метан	ОБУВ	50,0	0	0,0005	2,206	0,084	0,0017
1715	Метантиол (Метилмеркаптан)	ПДК с/с	0,0001	4	0,0000012	0,0053	0,0002	0,2062
Всего	веществ: 8					597,3063	22,694	
B TOM	числе твердых: 0							
жидких/газообразных: 8 597,3063 22,65						22,694		
Группь	ы веществ, обладаюц	цих эффекто	м комбинированного	о вредного дей	іствия:			
6043		0330	+0333					0,1894

# 4.3 Регулирование выбросов в период неблагоприятных метеорологических условий (НМУ)

В соответствии с документом ОТ, ТБ, и ООС «Процедура проведения отжига на скважинах и месторождениях Карачаганак КРО/HSE/PR/201» [1], все работы, связанные с отжигом углеводородного сырья, кроме аварийной ситуации должны быть отклонены или приостановлены при следующих метеорологических условиях: скорость ветра ≤ 1м/сек; скорость ветра ≥12 м/сек; дождь; снег; туман.

В процессе проведения работ по сбросу давления из полости ТК-1 будут строго учитываться метеоусловия и проведение каких либо работ вблизи объекта, так же будет постоянно контролироваться направление ветра с записью в журнале.

# 4.4 Радиационный контроль

Процесс выполнения экспериментальных работ будет проводиться под радиационным контролем в соответствии с документами: «Инструкция по радиационной безопасности при проведении работ на объекте ЛИРА» ИРБ-03-52-01-2004, СП2.6.1.758-99 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99) [5]. Измерение МЭД рабочей зоны в процессе отжига газа будет проводиться приборами радиационного контроля на устье скважины, приустьевой площадке и вблизи шлейфовых трубопроводов, по которым газ будет подаваться на амбар. Определение возможности выноса искусственных радионуклидов за пределы полости с потоком газа будет установлено по сопоставлению данных о радионуклидном загрязнении дневной поверхности до и после проведения отжига газа. Отбор проб и измерение радиационных параметров на объекте будет производиться по схеме радиационного контроля, приведенной на рисунке 2.



Рисунок 2. Схема радиационного контроля

Схема радиационного контроля корректируется в случае изменения направления ветра в процессе проведения отжига газа. Отбор проб производиться по стандартным методам. Радиационные измерения

проб производятся в лабораторных условиях на стандартном спектрометрическом и радиометрическом оборудовании и приборах.

# Заключение

Работы по проведению эксперимента на площадке ПР ТК-1 проводятся на локальном объекте ЛИРА, непосредственно в пределах территории, характеризуются отсутствием сбросов и не затрагивают недра и подземные воды, следовательно, воздействия на недра, подземные и наземные водные системы нет. Воздействия на растительность, почвы и фауну за пределами территории проведения отжига также отсутствуют. Таким образом, реальное воздействие на окружающую среду рассматриваемой деятельности будет выражено воздействием на атмосферу (выбросы вредных веществ).

Моделирование рассеивания загрязнителей в атмосферном воздухе при заданных расчетных метеопараметрах показывает отсутствие загрязнения по всем ингредиентам. Максимальная концентрация не превышает установленных нормативов для производственной зоны. В расчетных точках, на расстоянии 3, 5, 8 км концентрация веществ в приземном слое не превышают 0,01 ПДК для рабочей зоны по всем загрязнителям и группам суммации. Концентрации сажи, метана и сероводорода составляют менее 0,01 ПДК и расчет их нецелесообразен.

# Литература

- 1. Документ системы управления ОТ, ТБ и ООС «Процедура проведения отжига углеводородного сырья на скважинах и трубопроводах на месторождении Карачаганак» КРО/HSE/PR/201, 2004.
- Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. РНД 211.2.01.01-97. Алматы, 1997.
- 3. Инструкция по проведению оценки воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду при разработке предплановой, предпроектной и проектной документации. Утверждена МООС РК №204-П от 28.06.2007 года, Астана, 2007.
- 4. Методики расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей. Утверждена МООС РК №23П от 30.01.2007 года. Астана, 2007.
- 5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99), СП 2.6.1. 758-99 Издание официальное. Алматы, 2000.-80с.

# ЛИРА НЫСАНЫНЫҢ ҚУЫСТАРЫНДАҒЫ ҚЫСЫМДЫ ТӨМЕНДЕТУ БОЙЫНША ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТТІҢ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

## Артёмова В.А., Севериненко М.А., Кабдрахимова Г.Д., Глущенко В.Н.

#### ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

ЛИРА нысанының ТК-1 ұңғымасында күйдіруді жүргізу бойынша эксперименттің қоршаған ортаға әсерін бағалау жүргізілді. Атмосферлік ауадағы зиянды заттардың шығулары мен жер үстілік концентрацияларының максимал мәндерінің сапалық және сандық сипаттамалары жалындық қондырғы түрімен және параметрлерімен және жағатын қоспа құрамымен анықталған. Қолайсыз метеорологиялық жағдайлар кезеңіндегі шығуларды радиациялық бақылау мен реттеу сипатталған.

# EVALUATION OF ENVIRONMENT IMPACT BY TECHNOLOGICAL EXPERIMENT ON PRESSURE REDUCTION IN CAVITIES OF LIRA SITE

# V.A. Artyomova, M.A. Severinenko, G.D. Kabdrahimova, V.N. Gluchshenko

#### Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Evaluation of environment impact of the annealing experiment on TK-well at LIRA site has been completed. The qualitative and quantified characteristics of emissions and maximum values of harmful substances ground concentrations in atmospheric air have been determined by the type and the parameters of the flare unit and burning mixture content. Radiation and emissions control in unfavorable meteorological conditions has been described.

УДК 621.039

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ТЕРРИТОРИЙ СИП

#### Кабдрахимова Г.Д., Кудряшев В.А., Артемова В.А., Севериненко М.А.

## Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Определены допустимые величины апаратурно определяемых радиационных параметров на территориях СИП с разным радиоэкологическим статусом. В связи с нормативно установленным критерием оценки радиоэкологического состояния территорий Институтом ядерной физики разрабатывается Методическая инструкция по «Определению допустимых радиационных параметров при классификации территорий по степени радиационного риска». Инструкция позволяет определить связи измеряемых радиационных установленными параметров техногенных радионуклидов с нормативно критериями оценки радиоэкологического состояния территорий и допустимых величин измеряемых параметров на территориях с разным радиоэкологическим статусом. Проведен расчет допустимых измеряемых параметров радионуклидов при эффективной дозе от радионуклидов при лугопастбищном земледелии.

#### Введение

При планировании и производстве работ по обеспечению безопасности территорий необходима информация о степени радиационной опасности (радиационного риска) обследуемых территорий, регламентируемой в величинах эффективной дозы, недоступных для измерения приборами.

Вопросам оценки радиационной опасности для населения государств земного шара и нормирования допустимых количеств радионуклидов на загрязненных территориях в измеряемых параметрах последние два десятилетия уделялось значительное внимание. Значительная часть территории РК используется только для лугопастбищного земледелия (территории ЛПЗ). На территории СИП по следам от взрывов плутониевых зарядов имеются значительные удельные активности плутония, и вопросы более точного нормирования его удельной активности в почве приобретают первостепенное значение. Удельная активность плутония будет определяющим фактором статуса территорий следов по степени радиационной опасности.

Целью работы является определение допустимых величин апаратурно определяемых радиационных параметров (плотности потока частиц, удельные активности и т.д.) на территориях СИП с разным радиоэкологическим статусом.

Особенно актуальна информация о таких параметрах при выводе (передаче) территорий СИП в хозяйственное использование.

# НОРМАТИВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ ПО РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ

Критерии оценки радиоэкологического состояния территорий нормативно установлены Постановлением Правительства РК № 653 от 31 июля 2007 г. «Об утверждении критериев оценки экологической обстановки территорий» [1] (далее – Постановление 653).

Согласно Постановлению (раздел 6, Показатели для оценки радиационной безопасности) «территории, в пределах которых среднегодовые значения дополнительной (сверх естественного фона) эффективной дозы облучения человека не превышают 1 мЗв, а среднегодовые значения эффективной дозы облучения за счет природных источников не превышает 30 мЗв, относятся к территориям с относительно благополучной экологической обстановкой.

Территории, в пределах которых среднегодовые значения эффективной дозы облучения (дополнительного, сверх естественного фона) могут превысить 5 мЗв и находиться в диапазоне доз до 10 мЗв, необходимо относить к территориям чрезвычайной экологической ситуации, а более 10 мЗв – к зонам экологического бедствия».

Облучение, обусловленное радионуклидами ядерных установок (<sup>3</sup>H, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y, <sup>152</sup>Eu, <sup>239,240</sup>Pu, <sup>241</sup>Am), относится к дополнительному, сверх естественного фона, облучению, и, согласно положениям Постановления 653, территории Казахстана должны быть классифицированы по степени радиационной опасности от техногенных источников по 4-м зонам, указанным в таблице 1. В таблице 1 приведены также обусловленные облучением дополнительный пожизненный радиационный риск  $R_R$  и потенциальное сокращение продолжительности полноценной жизни индивидуумов - $\Delta T$ .

Часто возникают задачи классификации территорий, загрязненных техногенными радионуклидами вследствие деятельности, проводившейся не в соответствии с действующими в настоящее время нормами и правилами, в частности территориях СИП.
	Дополнительная	Допустимо	е загрязнен			
Экологический статус территории	эффективная доза, мЗв/год	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	Pu	R	-∆Т, мес.
Благополучная	0-1	<3	<0,2	<0,01	5*10 <sup>-3</sup>	1
Относительно удовлетворительная	1-5	3-15	0,2-1	0,01-0,05	2,5*10 <sup>-2</sup>	5
Чрезвычайная	5-10	15-40	1-3	0,05-0,1	5*10 <sup>-2</sup>	10
Бедствие	>10	>40	>3	>0,1	>5*10 <sup>-2</sup>	>10

Таблица 1. Показатели радиоактивного загрязнения почв

В связи с нормативно установленным критерием оценки радиоэкологического состояния территорий институтом ядерной физики разработана и согласована с Казахской Республиканской санитарно-эпидемиологической станцией Методическая инструкция по «Определению допустимых радиационных параметров при классификации территорий по степени радиационного риска». Инструкция позволяет определить связи (соотношения) измеряемых радиационных параметров (плотности потока частиц, удельные активности и т.д.) техногенных радионуклидов с нормативно установленными критериями оценки радиоэкологического состояния территорий и допустимых величин (нормативов) измеряемых параметров на территориях с разным радиоэкологическим статусом.

Природное облучение не рассматривается в данной инструкции, поскольку регламентация природного облучения достаточно полно изложена в действующих нормативных документах (НРБ-99, СГТОРБ-2003)

При разработке Методической инструкции применена методика Оутвей У.Б. и Моббс С. Ф. (W B Oatway и S F Mobbs) для оценки доз, получаемые населением от «будущего использования земли, ранее загрязненной радиоактивностью», и разработанные этими авторами формулы и константы частично использованы [2].

Также использованы рекомендации Руководства по радиометрической съемке и радиационному обследованию территорий (MARSSIM), разработанного комитетом представителей соответствующих государственных Агентств США (EPA, NRS, DOE, DOD) под председательством Colleen F. Petullo (декабрь 1997) [3].

Влияние пищевых цепей определяется с учетом Рекомендаций Руководства по установлению допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу (ДВ-98) [4].

#### МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ

Цель расчетов состоит в определении соотношения между возможной эффективной дозой, получаемой на данном участке, с аппаратурно измеряемыми параметрами радиационной обстановки и установление величин параметров, соответствующих *к*-тым величинам эффективной дозы ( $E\kappa = 1, 5, 10 \text{ м3B}$ ) территорий с перечисленными в таблице 1 экологическими статусами. Методической базой расчетов является согласованная органами санэпиднадзора Методическая инструкция ИЯФ МИ – 03 – 13.07 – 01 – 2009 «Определение допустимых радиационных параметров при классификации территорий по степени радиационного риска», согласованная Казахской Республиканской санитарно-эпидемиологической станцией [5] (далее в тексте – Методическая инструкция).

Эффективная доза техногенных радионуклидов является суммой дозовых нагрузок E<sub>R</sub> от имеющихся на участках территории СИП радионуклидов R, в основном:

1)  ${}^{3}H$ , 2)  ${}^{90}Sr+{}^{90}Y$  3)  ${}^{137}Cs$ , 4)  ${}^{152}Eu$ , 5)  ${}^{239,240}Pu$ , 6)  ${}^{241}Am$ ;

$$E = \sum_{R} E_{R}$$

Эффективная доза  $E_R$  от радионуклида R является суммой парциальных доз  $E_{Rj}$  по всем j-тым факторам радиационного воздействия, в том числе:

- 1. внешнее облучение гамма-излучением;
- 2. внешнее облучение бета-излучением;
- 3. внешнее облучение «грязью» рук;
- внутреннее облучение от ингаляции радионуклидов;
- внутреннее облучение от поступления радионуклидов в пище;
- 6. внутреннее облучение от поступления радионуклидов с «грязью» рук.

$$E = \sum_{R_j} E_{R_j}$$

Соотношения парциальных доз зависят от вида радионуклида и для каждого радионуклида примерно постоянны.

Измеряемыми параметрами радиационной обстановки ПR являются:

- мощность дозы Р (эквивалентной Р<sub>н</sub> или амбиентной эквивалентной Р<sub>н10</sub>) гамма-излучения, Зв/ч;
- плотность потока N<sub>β</sub> бета-излучения от почвы, част/мин\*см<sup>2</sup>;
- удельная активность радионуклида R в почве А<sub>mR</sub>, Бк/кг;
- 4. поверхностная загрязненность почвы (плотность выпадений) A<sub>sR</sub>, Бк/м<sup>2</sup>.

Все указанные параметры физически (математически) связаны между собой. За опорный параметр оценки радиационной обстановки принята удельная активности почв A<sub>mR</sub> (Бк/кг).

Для каждого j-того фактора радиационного воздействия радионуклида R, руководствуясь Методической инструкцией, HPБ-99 [6] и справочными данными, определены величины годовой эффективной парциальной дозы  $e_{RJ}$  (мЗв\*кг/(Бк\*год)), обусловленные наличием в почве единичной удельной активности радионуклида R (парциальный дозовый коэффициент). Удельная активность почвы  $A_{mRJ1}$ (Бк\*год/(кг\*мЗв)), обуславливающая эффективную дозу E =1 мЗв/год (предельную для благополучных территорий, где  $\kappa$ =1) в условиях только J-того монофакторного воздействия радионуклида R (предельная удельная активность почвы для уровня дозы  $E_{\kappa}$ ), равна:

$$A_{mRj1} = \frac{1}{e_{Rj}}$$

Удельная активность A<sub>mRк</sub>, обуславливающая дозу 1мЗв/год в условиях воздействия всех радиационных факторов только радионуклида R (предельная удельная активность при наличии только радионуклида R), определяется по формуле 3.7 Методической инструкции:

$$A_{mRj1} = \frac{1}{\sum_{j} (1/A_{mrj1})}$$

При наличии в почве удельной активности A<sub>mR</sub> радионуклида R эффективная доза (мЗв/год) от это-

го радионуклида по формулам 3.10 и 3.11 Методической инструкции будет равна:

$$E_R = \frac{A_{mR}}{A_{mR1}} = \frac{\Pi_R}{\Pi_{R1}}$$

где  $\Pi_R/\Pi_{R1}$  – отношение любого измеряемого параметра радионуклида к соответствующему предельному значению этого параметра для уровня 1 мЗв/год.

В условиях наличия в почве нескольких радионуклидов эффективная доза Е (мЗв) от находящихся в почве радионуклидов оценивается по формуле:

$$E_{R} = \sum_{R} (\frac{A_{mR}}{A_{mR1}}) = \sum_{R} (\frac{\Pi_{mR}}{\Pi_{mR1}})$$
(1)

На территории с определенным статусом радиационной опасности  $\kappa$  (потенциальная доза менее  $E_{\kappa}$ ) должно выполняться условие:

$$\sum_{R} \left( \frac{\Pi_{R}}{\Pi_{R1}} \right) < E_{k} \quad (M3B)$$

# РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ДОПУСТИМОЙ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

Парциальные предельные удельные активности радионуклидов в почве в условиях монофаторного радиационного воздействия только одного радионуклида для территорий, благополучных по радиоэкологической обстановке (годовая эффективная доза менее 1 мЗв) приведены в таблице 2.

Таблица 2. Парциальные допустимые удельные активности радионуклидов в почве для территорий, благополучных по радиоэкологической обстановке (менее 1 мЗв вгод), кБк/кг

Радионуклид	³Н	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>152</sup> Eu	<sup>239,240</sup> Pu	<sup>241</sup> Am
Радиационный фактор						
Внеш. бета- излучение		380	4,8*10 <sup>4</sup>	5,4*10 <sup>4</sup>		
Пыль на коже		9,6*10 <sup>3</sup>	2,3*10 <sup>4</sup>	2,3*10 <sup>4</sup>	1,7	1,7
Гамма- излучение		5,5*10 <sup>4</sup>	2,6	1,4		48
Ингаляция	1,9 (кБк/м <sup>3</sup> )	2,6*10 <sup>3</sup>	2,7*10 <sup>4</sup>	2,9*10 <sup>3</sup>	2,5	3
Грязные руки		430	9,3*10 <sup>3</sup>	1,9*10 <sup>3</sup>	54	61
Питьевая вода открытых	77	3	1000	6,7*10 <sup>4</sup>	700	8,3*10 <sup>₄</sup>
водоемов, кБк/л						
Молоко	77	1,6	29	5,2*10 <sup>5</sup>	3700	845
Мясо говядина	347	470	43	2,9 <sup>*</sup> 10 <sup>4</sup>	8,3 <sup>*</sup> 10 <sup>6</sup>	3,7 <sup>*</sup> 10 <sup>5</sup>
Мясо баранина	347	3000	12,9	1,8 <sup>*</sup> 10 <sup>5</sup>	5,3 <sup>*</sup> 10 <sup>7</sup>	2,4 <sup>*</sup> 10 <sup>6</sup>

Значительная часть территории Казахстана, в том числе и территории СИП, малопригодна для пахотного земледелия и используется как лугопастбищные территории для мясомолочного скотоводства. В этом случае основной вклад во внутренние дозы населения обусловлен употреблением мяса и молока, вклад в дозы от употребления растительных продуктов является незначителным.

На территории СИП по следам от взрывов плутониевых зарядов имеются значительные удельные активности плутония, и вопросы более точного нормирования его удельной активности в почве приобретают первостепенное значение. Удельная активность плутония будет определяющим фактором статуса территорий ближних следов выпадений по степени радиационной опасности.

Классификация территорий по величинам выпадений (Ки/км<sup>2</sup>) пригодна в ситуации кратковременных выбросов при авариях, но для территорий, загрязненных в результате давно прошедшей деятельности (хроническое облучение), она малопригодна по причине сложности измерений и неточности расчетов вследствие миграции радионуклидов с поверхности.

Результаты расчетов показывают, что для каждого радионуклида имеются различные основные факторы радиационного воздействия, определяющие величину вклада этого радионуклида в дозу и его предельную удельную активность в окружающей среде. Для трития это употребление воды, для альфа-излучающих радионуклидов плутония и америциия ингаляция и излучение пыли на коже, для радионуклидов <sup>137</sup>Сs и <sup>152</sup>Eu мощность гамма-излучения, для радионуклидов <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y потребление молока. Другие факторы радиационного воздействия вносят меньший вклад, часто пренебрежимый в сравнении с погрешностью измерений.

#### Комбинированные предельные параметры

Для оценки радиационной опасности территорий по формуле 1 в общем случае необходимо знание хотя бы одного измеряемого параметра по каждому из 7 радионуклидов. Методически и экономически целесообразно определять влияние радионуклида по параметру, характеризующему основной фактор радиационного воздействия, определяющий создаваемую радионуклидом эффективную дозу, и наиболее доступному для измерения. Для альфа-излучающих радионуклидов плутония и америция измерение удельной активности аэрозолей и почвы, для радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>152</sup>Eu измерение мощности гамма-излучения, для радионуклидов <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y измерение удельной активности растений и, по возможности, молока.

Таблица 3. Допустимые измеряемые параметры радионуклидов при эффективной дозе от радионуклида 1 мЗв/год при лугопастбищном земледелии с коэффициентом запаса 2

Радионуклид	³Н	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>152</sup> Eu	<sup>239,240</sup> Pu	<sup>241</sup> Am
Параметр						
Удельная активность, кБк/кг	22	0,5	1	0,7	0,5	0,5
Плотность загрязнения, кБк/м <sup>2</sup>		100	100	70	50	50
Плотность загрязнения, Ки/км <sup>2</sup>		2,6	2,6	1,9	1,3	1,4
Мощность эквивалентной дозы внешнего излучения (h = 1 м), мкЗв/ч			0,10	0,14		0,004
Плотность потока бета-частиц (h = 10 см), част/мин*см <sup>2</sup>		3,2	0,4	0,7		
Плотность потока альфа частиц, част/мин*см <sup>2</sup>					0,03	0,03
Удельная активность радионуклида в сене, Бк/кг		200	20	7	10	50
Плотность потока бета-излучения от сена, част/мин*см <sup>2</sup>		1,3				
Удельная активность молока, Бк/л	22	10	7	5*10 <sup>-4</sup>	0,0015	0,008
Удельная активность говядины, Бк/кг		20	15	0,65	0,01	0,25
Удельная активность баранины, Бк/кг		3,1	11	0,1	0,0015	0,05

Учитывая особенности токсичности и характер выпадений радионуклидов, можно путем анализа снизить необходимое количество измеряемых параметров без ущерба для радиационной безопасности. Например, в условиях выпадений продуктов деления:

1) Радиотоксические и миграционные величины альфа-излучателей <sup>239</sup>Ри и <sup>240</sup>Ри равны и достаточны измерения суммы параметров этих радионуклидов.

измерения суммы параметров этих радионуклидов. 2) Радионуклид<sup>241</sup>Am является продуктом распада радионуклида<sup>241</sup>Pu и максимальная активность радионуклида<sup>241</sup>Am в продуктах ядерных взрывов не может превысить 25% от активности радионуклидов <sup>239,240</sup>Pu. Можно, снизив на 20 % предельную удельную активность (до 400 Бк/кг), исключить необходимость определения параметров радионуклида<sup>241</sup>Am.

3) Определяющим фактором для радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>152</sup>Eu является мощность дозы гамма-излучения, причем критические параметры для этих радионуклидов близки (0,1 и 0,14 мкЗв/ч соответственно), и, установив предел эквивалентой дозы 0,1 мкЗв/ч над фоном, можно исключить необходимость измерения параметра радионуклида <sup>152</sup>Eu.

4) Предельные плотности потока бета-излучения для радионуклидов  $^{137}$ Cs и  $^{152}$ Eu равны и в 5 раз ниже, чем для  $^{90}$ Sr+ $^{90}$ Y, поэтому плотность потока бета-излучения определяется в основном радионуклидами  $^{90}$ Sr+ $^{90}$ Y и характеризует их удельную активность. В любом случае по величине дополнительной мощности дозы гамма-излучения можно определить вклад бета излучения радионуклидов  $^{137}$ Cs+ $^{152}$ Eu.

5) Основным фактором радиационного воздействия радионуклида <sup>90</sup>Sr является поступление радионуклида по пищевым цепям через растения и методически обоснованно в качестве параметра <sup>90</sup>Sr определять его удельную активность в растительности и, по возможности, в молоке.

В итоге, для оценки радиационной опасности территорий необходимо знание 4-х измеряемых параметров: удельной активности <sup>3</sup>H, <sup>239,240</sup>Pu, мощности дозы гамма-излучения и одного из параметров радионуклидов <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y.

На значительной части территорий отношение выпадений основных радионуклидов  ${}^{90}$ Sr/ ${}^{137}$ Cs находится в интервале K = 0,35 – 0,7, в любом случае, менее 0,7. В связи с более высокой миграционной способностью  ${}^{90}$ Sr (0,8 см/год) в сравнении с  ${}^{137}$ Cs отношение удельной активности этих радионуклидах в почвах будет не более 0,4. На этих территориях можно оценить степень радиационной опасности от этих двух радионуклидов по результатам измерений выпадений  ${}^{137}$ Cs, и общую радиационную опасность в первом приближении можно достаточно точно оценить по измерениям содержания 3-х радионуклидов:  ${}^{3}$ H,  ${}^{137}$ Cs и  ${}^{239,240}$ Pu. Комбинированный предел удельной активности в соответствии с Методической инструкцией определяется по соотношению:

$$\frac{1}{\Pi_{kR(1)}^{+}} = \frac{1}{\Pi_{kR(1)}} (1 + K * \frac{\Pi_{kR(1)}}{\Pi_{kR(2)}})$$
(2)

где К =  $\Pi_{R(2)}/\Pi_{R(1)}$  – среднее отношение активностей или других параметров радионуклидов. В случае К =  $A^{90}$ Sr/<sup>137</sup>Cs = 0,4 комбинированный

В случае K=  $A^{90}$ Sr/<sup>137</sup>Cs = 0,4 комбинированный предел удельной активности <sup>137</sup>Cs с учетом содержания <sup>90</sup>Sr и коэффициентом запаса 2 будет равен 550 Бк/кг (в том числе <sup>90</sup>Sr 220 Бк/кг) и допустимая плотность загрязнения радионуклидом <sup>137</sup>Cs равна 1,5 Ки/км<sup>2</sup>.

Таблица 4. Допустимые радиационные параметры с коэффициентом запаса 2 на территориях ЛПЗ с выпадениями продуктов деления урана, благополучных по радиационной опасности техногенных радионуклидов

Радионуклид	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
Параметр		
Удельная активность в почве, Бк/кг	220	550
Плотность выпадений, кБк/м <sup>2</sup>	44	55
Плотность выпадений, Ки/км <sup>2</sup>	0,59	3,0
Мощность эквивалентной дозы, мкЗв/час	0,06	
Плотность потока бета-частиц, част/мин*см <sup>2</sup>	1,4	
Удельная активность сухого сена	88	11
Плотность потока бета-частиц от сена,	0,	,56
	4.0	4.0
удельная активность молока, вкл	4,2	4,0
Удельная активность говядины, Бк/кг	8,4	8,8
Удельная активность баранины, Бк/кг	1,3	6,3

На следах выпадений продуктов деления урана удельная активность радионуклидов плутония менее 5 % от удельной активности радионуклида  $^{137}\mathrm{Cs}$  и ра-

диационной опасностью плутония можно пренебречь. На таких территориях при отсутствии значимой активности трития в воде можно считать территории с дополнительной мощностью эквивалентной дозы менее 0,05 мкЗв/час радиационно-безопасными в отношении техногенного излучения. В таблице 4 приведены допустимые по уровню годовой эффективной дозы 1 мЗв (с коэффициентом запаса 2) на таких территориях радиационные параметры.

#### Заключение

Все указанные параметры физически или математически связаны между собой. За опорный параметр оценки радиационной обстановки принята удельная активности почв.

Методически и экономически целесообразно определять влияние радионуклида по параметру, характеризующему основной фактор радиационного воздействия, определяющий создаваемую радионуклидом эффективную дозу, и наиболее доступному для измерения.

Применение методики позволяет существенно сократить количество измеряемых параметров. Для оценки радиационной опасности территорий СИП необходимо знание 4-х измеряемых параметров: удельной активности <sup>3</sup>H, <sup>239,240</sup>Pu, мощности дозы гамма-излучения и одного из параметров радионуклидов <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y.

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. Республика Казахстан. Постановление Кабинета Министров РК № 653 : (Об утверждении критериев оценки экологической обстановки территорий). 31 июля 2007 г. 26 с.
- Methodology for Estimating The Doses to Members of the Public from the Future Use of Land Previously Contaminated with Radioactivity / W. B. Oatway [et al]. – Report NRPB W36 National Radiological Protection Board. – GreitBritanion. - 2003– 274 p.- ISBN 0 85951 508 7.
- 3. Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual /Colleen F. Petullo. USA.- 1997. 450 p.
- Руководство по установлению допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу (ДВ-98): Госкомэкологии, Минатом РФ. - 1999 г. – 96 с.
- 5. Методическая инструкция [Определение допустимых радиационных параметров при классификации территорий по степени радиационного риска]: МИ–03–13.07–01–2009 : ИЯФ НЯЦ РК. исх № 34-1307-12/1414 от 26.10.2009 г. 19 с.
- Нормы радиационной безопасности НРБ-99 : СП 2.6.1.758-99 : Агентство по делам здравоохранения, Республика Казахстан. - 1999 г. – 130 с.

# ССП ЭКОЛОГИЯЛЫҚ СТАТУСЫН АНЫҚТАУДА ШЕКТІ РАУАЛЫ ПАРАМЕТРЛЕРІН ПАЙДАЛАНУ

#### Кабдрахимова Г.Д., Артемова В.А., Севериненко М.А., В.А. Кудряшов

#### КР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Әртүрлі радиоэкологиялық статусты ССП аймағында аппаратуралық анықталатын радиациялық параметрлердің рауалы шамалары анықталды. Аймақтың радиэкологиялық күйін бағалаудың нормалық белгіленген критерийімен байланысты Ядролық физика институты «Аймақтарды радиациялық қауіп-қатер дәрежесі бойынша жіктеуде рауалы радиациялық параметрлерді анықтау» бойынша Әдістемелік нұсқау эзірледі. Нұсқау техногенді радинуклидтердің өлшенетін радиациялық параметрлерінің аймақтың радиоэколгиялық күйін бағалаудың нормалық белгіленген критерийлерімен және аймақтардағы өлшенетін параметрлердің рауалы шамаларының әртүрлі радиэкологиялық статусымен байланысын анықтауға мүмкіндік береді. Жайылымдық жеригерудегі радинуклидтерден эффектив дозадағы радинуклидтердің рауалы өлшенетін параметрлерінің есебі жүргізілді.

# USE OF MAXIMUM ACCEPTABLE PARAMETERS IN DETERMINATION OF RADIOECOLOGICAL STATUS OF SEMIPALATINSK TEST SITE (STS)

#### G.D. Kabdrahimova, V.A. Artyomova, M.A. Severinenko, V.A. Kudryashev

# Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Determination of the acceptable values of instrumentally assessed radiation parameters on STS territories with various radio-ecological status. The Institute of Nuclear Physics develops the procedure on "Determination of acceptable radiation parameters at classification of the territories per radiation risk rates" due to the established standard criterion for territories radio-ecological status assessment. This procedure prescribes how to determine relation of assessed radiation parameters of induced radionuclides with the standard established criteria of territories radio-ecological status assessment and acceptable values of assessed parameters on the territories with various radio-ecological status. Calculation of acceptable assessed parameters of radionuclides at effective dose from radionuclides during greenland agricultural processing.

# ЭТАЛОННЫЕ КАРЬЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ИЗУЧЕНИИ СЕЙСМИЧНОСТИ СЛАБОАКТИВНЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА

#### Захарова О.В.

#### Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Для территории Казахстана, условно разделенной на шесть районов, изучено по различным критериям соотношение количества землетрясений и карьерных взрывов с использованием собранных независимых данных о действующих карьерах. Отобраны эталонные взрывы с известными параметрами источника, которые необходимы для изучения скоростных характеристик района и распознавания природы событий с целью правильной оценки сейсмической опасности в слабоактивных районах Казахстана.

Вопросы о том, где, какой магнитуды (энергии) и как часто будут возникать очаги землетрясений при определении степени сейсмической опасности, имеют большое практическое значение. Определение зон вероятного возникновения землетрясений входит в задачу сейсмического районирования. На рисунке 1 приведена действующая карта сейсмического районирования Казахстана, которая является неотъемлемой частью Строительных норм и правил РК. Последние обновления были внесены в карту в 2003 г. [1].

Из рисунка 1 видно, что территория Казахстана может быть условно разделена на сейсмически активные и асейсмичные области. К сейсмически активным относятся области на юге, юго-востоке и востоке Казахстана. Вся остальная территория Республики является асейсмичной: здесь, согласно [1], не могут произойти землетрясения, сейсмические воздействия от которых превысят 5 баллов. Можно отметить различие двух понятий: прогноз землетрясения и сейсмическое районирование. При прогнозе землетрясения указывают примерное время, место и магнитуду ожидаемого события, а при сейсмическом районировании отсутствует привязка возможного события по времени и координатам. Индекс сейсмического районирования указывает на вероятность землетрясения определённой балльности, которое должно произойти в течение какого-то, довольно продолжительного промежутка, времени (например, индекс  $7_2$  указывает на то, что в ближайшие 50 лет землетрясение с интенсивностью 7 баллов произойдет с вероятностью 0.95) [2].

### ЗНАЧЕНИЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАРЬЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Сеть сейсмических станций Национального ядерного центра Республики Казахстан функционирует на территории Республики уже более десятка лет и имеет цифровые станции в разных регионах Казахстана (рисунок 2).



Рисунок 1. Карта сейсмического районирования территории Республики Казахстан

#### ЭТАЛОННЫЕ КАРЬЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ИЗУЧЕНИИ СЕЙСМИЧНОСТИ СЛАБОАКТИВНЫХ РАЙОНОВ КАЗАХСТАНА



Рисунок 2. Сеть сейсмических станций НЯЦ РК

Расположение станций позволяет проводить сейсмический мониторинг довольно большой территории, включая приграничные зоны с Россией, Китаем, Кыргызстаном и другими странами. Данные всей сети НЯЦ РК поступают в Центр обработки специальной сейсмической информации ЦСОССИ (KNDC). При составлении Центром данных сейсмологических бюллетеней оказалось, что в асейсмичных районах имеется большое количество сейсмических событий. Данный факт можно связать с тем, что на этой территории действуют промышленные карьеры. Кроме того, производятся и другие взрывы, не связанные с разработкой полезных ископаемых (например, учебные взрывы на военных полигонах, взрывы при прокладке трубопроводов, строительстве дорог и др.). Для решения вопроса об установлении природы событий, регистрируемых станциями НЯЦ РК, проведена работа по определению вклада событий техногенного характера в общую сейсмическую картину. Анализ ситуации выполнен для 6 условных областей (рисунок 3): 1 - Западный Казахстан, 2 - Южный Казахстан, 3 - Юго-восточный Казахстан, 4 - Центральный Казахстан, 5 - Северный Казахстан, 6 - Семипалатинский испытательный полигон. Сведения о границах этих областей приведены в таблице 1.

Таблица I. (	зведения о гр	аницах условно	) выделенных
обла	стей на терр	итории Казахо	стана

- -

. .

N⁰	Название	Северная широта (градусы)	Восточная долгота (градусы)
1	Западный Казахстан	45-55	43-65
2	Южный Казахстан	41-46	65-72
3	Юго-восточный Казахстан	41-46	72-82
4	Центральный Казахстан	46-50	65-75
5	Северный Казахстан	50-55	65-73
6	Семипалатинский испыта-	46-50	75-85
	тельный полигон (СИП)	50-55	73-85

# Идентификация взрывов и землетрясений

Идентификация взрывов в ЦСОССИ проводится в режиме, намного позже реального времени - каталог взрывов составляется каждые полгода. При этом используются разные критерии при идентификации



Рисунок 3. Карта условного разделения территории Казахстана на шесть областей (названия в тексте)

взрывов и землетрясений: волновая форма, распределение событий по времени суток, распределение по магнитудам (mb) и др.

# Волновая форма

Первое вступление волны Р землетрясения относительно слабее его S-волны, у взрыва, напротив, Sволна выражена слабее Р-волны (рисунок 4).





Это различие связано с тем, что землетрясения и взрывы имеют разный механизм возникновения очага: очаг землетрясения представляет собой разрыв сплошности среды по некоторой плоской площадке (сдвиг); модель очага взрыва можно представить в виде точечного источника типа расширения (сжатие). Из этого следует, что Р-волны, являющиеся волнами сжатия, имеют большую амплитуду, чем S-волны при записи взрыва, а S-волны – волны сдвига, более выражены на записи землетрясения. Поскольку взрывы всегда производятся на поверхности земли, у них хорошо видна поверхностная волна Rg, землетрясения же обычно имеют глубину 5 - 20 км. Также на некоторых сейсмограммах взрывов можно увидеть и запись звуковых волн, приходящих намного позже сейсмических поскольку скорость звуковых волн на порядок меньше скорости сейсмических [3]

# Распределение событий по времени суток

Возникновение землетрясения равновероятно в любое время суток, тогда как промышленные взрывы могут быть довольно жестко привязаны к рабочему времени суток (рисунок 5).

## Распределение событий по магнитудам (mb)

Мощность взрывов на карьере, согласно выдаваемым лицензиям, не может превышать действующих норм. Промышленные взрывы не могут быть чрезвычайно мощными (за исключением отдельных

а – землетрясения

случаев), и поэтому распределение по зарегистрированным магнитудам отличается от аналогичных распределений для землетрясений. Распределение землетрясений по магнитудам подчиняется закону повторяемости магнитуд [4], а распределение взрывов по мощности регулируется техническими требованиями (рисунок 6).

Для каждой из шести выделенных областей (рисунок 3, таблица 1) построены круговые диаграммы с представлением на них процентного соотношения взрывов и землетрясений (рисунок 7).



б – промышленные взрывы





Рисунок 6. Распределение регистрируемых событий по энергетическим классам



Рисунок 7. Процентное соотношение промышленных взрывов и землетрясений для шести условно выделенных областей на территории Казахстана

Из анализа данных на рисунке 7 следует, что в асейсмичных районах, где закон повторяемости не соблюдается, одно землетрясение может приходиться на тысячи взрывов, но даже один взрыв, отнесенный к землетрясениям, может резко изменить представление о сейсмичности. Это обстоятельство и является важнейшей причиной поиска эталонных событий для дальнейшего их использования в распознавании. Найденный волновой образ взрыва способствует оперативности распознавания. Большое значение имеет и повышение точности локализации события, поскольку это облегчит отнесение взрыва к определенному карьеру.

# ЭТАЛОННЫЕ ВЗРЫВЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДЫ

Для повышения достоверности идентификации взрывов и землетрясений может быть использована независимая информация о взрывах, проведенных в карьерах, двух типов: 1) известны координаты взрыва на конкретном карьере при неизвестном времени его проведения; 2) известны координаты взрыва и время его проведения. Случай, когда известны координаты взрыва на конкретном карьере ( $\phi$ ,  $\lambda$ ), но неизвестно время проведения взрыва ( $t_0$ )

Для определения координат взрывов используют GPS-приборы. Примером записи эталонного взрыва с известными координатами может служить сейсмограмма взрыва на карьере Каражыра Семипалатинского испытательного полигона (рисунок 8).



Рисунок 8. Эталонный взрыв на карьере Каражыра (СИП)



Рисунок 9. Эталонный взрывОМЕGA-3 на участке Дегелен (СИП)

Этот взрыв, как и ряд других, включен в специальную базу эталонных взрывов, которая позволяет вести распознавание событий по образам записей намного быстрее - предварительная сортировка событий может быть выполнена уже в первые сутки.

# Случай, когда известны координаты взрыва $(\phi, \lambda)$ , и время его проведения $(t_0)$

Дополнительно к результатам определения координат взрыва GPS-приборами, устанавливается время взрыва (до сотых долей секунды) по записям вступления сейсмических волн с использованием акселерометра, установленного в непосредственной близости от производимого взрыва. На СИП был проведен ряд калибровочных взрывов с разным количеством заряда (5, 25 и 100 тонн). Для регистрации этих взрывов были использованы стационарные станции сети НЯЦ РК и установленные дополнительные временные станции. Пример записи одного из калибровочных взрывов - OMEGA-3, приведен на рисунке 9. Взрыв произведен 29 июля 2000 г., время взрыва t<sub>0</sub>=06:10:04,03, масса заряда m=100 тонн, глубина закладки заряда h=6 м, координаты φ=49°46' 55,39", λ=77°57' 58,68"). На основе полученных сейсмограмм были построены скоростные модели для района Семипалатинского испытательного полигона, которые позволили определять время t<sub>0</sub> для взрывов в случае, для которых известны только координаты эпицентра.

Еще одним примером эталонного взрыва является крупномасштабный химический взрыв «Камбарата», произведенный в Киргизии 22 декабря 2009 г. в 05 час 54 мин по Гринвичу для перекрытия реки Нарын с целью создание плотины на ГЭС «Камбарата-2» (рисунок 10). В месте проведения взрыва было заложено 2,8 тысячи тонн взрывчатого вещества. Этот взрыв был зарегистрирован всеми станциями сети НЯЦ РК. Уже через 15 минут после проведения взрыва в ЦСОССИ были получены предварительные координаты события и оценена его магнитуда (коор- $\varphi = 41.8508^{\circ}$ ,  $\lambda = 73.2728^{\circ}$ . динаты время *t*<sub>0</sub> =05:54:34,78, магнитуда *mb*=5.14; энергетический класс К=11,27). Дополнительный анализ поступивших сейсмических данных позволил уточнить координаты места проведения взрыва и с использованием некоторых точных параметров взрыва из независимых источников оценить точность локализации по первому решению - 9,8 км, и по уточнённому решению - 3,3 км. Данный взрыв является эталонным взрывом большой точности, и анализ его записей позволил рассчитать и построить годограф для юга Казахстана и территории Кыргызстана (рисунок 11).



Рисунок 10. Сейсмограмма химического взрыва «Камбарата»



Рисунок 11. Годограф сейсмических волн для юга Казахстана и территории Кыргызстна

#### Выводы

На основе сейсмических бюллетеней ЦСОССИ и использования методов распознавания природы сейсмических событий проведено районирование территории по соотношению естественных и техногенных сейсмических событий. В базу данных эталонных событий внесена комплексная информация о карьерах и сейсмических записях. Эталонные взрывы разделены на два класса. Наибольшую ценность представляют эталонные взрывы с точными параметрами эпицентра и времени в очаге. По записям эталонного взрыва в Кыргызстан «Камбарата» построен годограф сейсмических волн для южной части Казахстана и Кыргызстана, что важно для работ по распознаванию природы сейсмических событий.

## Литература

- СНиП РК 2.03-30-2006. Строительство в сейсмических районах. Взамен СНиП РК 2.03-04-2001; введ. 01.07.2006. Алматы. : Изд-во LEM, 2006. – 80 с.
- Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1987 г.: сб. ст. / Отв. ред. В. И. Бунэ, Г. П. Горшков. – М. : Наука, 1980. – 308 с.
- 3. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний / О.К. Кедров. М.: Саранск: Тип. «КрасюОкт», 2005. –420 с. ISBN 5-7493-0851-0.
- 4. Ризниченко Ю.В. Об изучении сейсмического режима // Изв. АН СССР. Серия геофиз. 1958а. № 9. 1057-1074.

# ҚАЗАҚСТАННЫҢ БӘСЕҢ БЕЛСЕНДІ АУДАНДАРЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫН Зерделеуінде эталондық карьерлік жарылыстар

#### Захарова О.В.

#### ҚР ҰЯО геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Алты ауданға шартты бөлінген Қазақстанның аумағы үшін әр түрлі критерийлер бойынша, істегі карьерлер туралы жиналған тәуелсіз деректерін қоса алғанда, жерсілкінулер мен карьерлік жарылыстар санының арақатысы зерделенген. Ауданның жылдамдылық сипаттамаларын зерделеу, оқиғалардың тегін тану үшін қажетті көздің белгілі тиянақты параметрлерімен эталондық жарылсытары іріктелген, бұл Қазақстанның бәсең белсенді аудандарында сейсмикалық қауіпін дұрыс бағалауына мүмкіндік тудырады.

# GROUNDTRUTH MINING EXPLOSIONS IN THE INVESTIGATION OF SEISMISITY OF SEISMICALLY LOW ACTIVE REGIONS OF KAZAKHSTAN

#### O. Zacharova

## Institute of Geophysical Researches NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Earthquakes to mining explosions ratio was investigated based on various criteria for the territory of Kazakhstan, which was conventionally divided into six regions, including data on the active mines, which was gathered independently. Ground-truth explosions with the known precise source parameters were selected to investigate velocity characteristics of the region, discriminate the nature of the events, which facilitated proper assessment of the seismic hazard in low active regions of Kazakhstan.

#### УДК 504.4.054:577.4:539.16

# СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ р. ШАГАН И ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ

<sup>1)</sup>Айдарханов А.О., <sup>1)</sup>Лукашенко С.Н., <sup>1)</sup>Субботин С.Б., <sup>1)</sup>Эдомин В.И., <sup>1)</sup>Генова С.В., <sup>1)</sup>Ларионова Н.В., <sup>2)</sup>Пестов Е.Ю.

<sup>1)</sup>Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Казахстан, Курчатов <sup>2)</sup>Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Казахстан, Курчатов

В статье представлены результаты радиоэкологических исследований проведенных с целью определения характера и уровней радиоактивного загрязнения основных компонентов экосистемы на р. Шаган. Рассмотрены основные механизмы формирования загрязнения компонентов экосистемы.

#### Введение

Вода реки Шаган, протекающей по территории СИП в непосредственной близости от мест проведения подземных ядерных испытаний, используется в хозяйственных целях населением, проживающим вблизи реки. Территория ее долины используется для выпаса животных. По имеющимся на сегодняшний день данным в этом районе расположено несколько крестьянских хозяйств (около 3000 жителей), выращивающих крупный и мелкий рогатый скот (около 50 тыс. голов). По результатам радиоэкологических исследований установлен факт загрязнения техногенными радионуклидами как воды р. Шаган (тритий), так и других компонентов ее экосистемы, в частности грунтов и береговой растительности (тритий, <sup>241</sup> Am <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co, <sup>152</sup>Eu, <sup>154</sup>Eu).

Актуальность. Очевидно, что использование воды с обнаруженными концентрациями трития, превышающими уровень вмешательства в десятки раз, в качестве питьевого источника приведет к переоблучению человека. Выпас скота на загрязненной территории может обусловить высокие концентрации радионуклидов в продукции животноводства. Наконец, р. Шаган является притоком крупной региональной водной артерии – р. Иртыш, и при неблагоприятном развитии ситуации не исключено радиоактивное загрязнение р. Иртыш.

Создавшаяся ситуация требует самого тщательного изучения и оценки ее воздействия на биологические объекты (растения, животные, человек). Это позволит принять меры по обеспечению радиационной безопасности населения, проживающего и ведущего хозяйственную деятельность в зоне влияния реки Шаган. Изучение механизмов формирования радиационной обстановки позволит сделать прогноз ее развития и установить вероятность долговременных последствий, выходящих далеко за пределы территории СИП.

Научная новизна. Семипалатинский испытательный полигон – уникальный в научном отношении объект. Нет необходимости ограничиваться теоретическим описанием радиационно-опасных объектов или каким-то образом их моделировать - такие объекты существуют на территории полигона в «живом» виде, что предоставляет редкую возможность практических наблюдений и экспериментов для проверки различных теорий и моделей. В годы проведения испытаний СИП был закрытым объектом, недоступным для научного изучения (за исключением исследований, которые проводились в интересах военных ведомств, результаты которых не предназначались для широкого освещения и остались неизвестны мировому научному сообществу). В наши дни возможность таких исследований есть, и они уникальны в научном плане, так многие из них просто невозможно провести где-либо в другом месте.

**Практическая** значимость. Полученные в результате проведения данной работы результаты могут являться основой для:

- разработки и осуществления первоочередных мер по ограничению хозяйственной деятельности на радиоактивно-загрязненной территории в пределах береговой зоны реки Шаган;
- подготовки рекомендаций по снижению воздействия радиоактивного загрязнения реки Шаган на население региона;
- разработки и внедрения системы мониторинга окружающей среды.

Кроме того на основе понимания механизмов формирования ситуации может быть сделана прогнозная оценка радиационных рисков для населения районов, расположенных за пределами СИП – в районе р. Иртыш ниже впадения в нее р. Шаган.

#### Основная часть

На территории СИП, в настоящее время, имеется ряд проблематичных, с точки зрения радиоэкологической ситуации, участков. Одним из них являются поверхностные воды участка р. Шаган, расположенного на площадке «Балапан» (рисунок 1).



Рисунок 1. Участок р. Шаган, загрязненный техногенными радионуклидами

Первоначальный и достаточно значительный вклад в радиоактивное загрязнение экосистемы реки внес экскавационный ядерный взрыв мощностью 140 кт провеленный в 1965 году в скважине 1004. В результате взрыва было наработано долгоживущих радионуклидов: плутония-239/240 - 8,5 Ки; цезия-137 -800 Ки; кобальта-60 – 80 Ки; европия-152 – 120 Ки; стронция-90 – 400 Ки; трития – 4\*10<sup>5</sup> Ки [1]. В зоне навала грунта выпало до 40% радионуклидов от наработанного количества. В результате этого взрыва в месте слияния рек Шаган и Ашису было образовано водохранилище, которое впоследствии получило название «Атомное» озеро. «Атомное» озеро явилось первым гидроузлом подобного рода и рассматривалось как опытный гидротехнический полигон. В 1994 году, в результате длительного отсутствия эксплуатации гидросооружений и несанкционированной деятельности людей по сбору металлолома на территории бывшего СИП, произошла утечка воды из экспериментального водохранилища из-за появления в теле плотины промывов и выхода из строя донного водоспуска. Тем не менее, поверхностные воды «Атомного» озера и загрязненные горные породы, слагающие его берега, в настоящее время не вносят существенного вклада в радиоактивное загрязнение экосистемы реки Шаган. В месте выхода реки Шаган из «Атомного» озера концентрация радионуклидов в воде реки составляет: стронция-90 до 4.0 Бк/л, цезия-137 - до 1.5 Бк/л, плутония-239+240 - до 0.005 Бк/л, трития 250 Бк/л. То есть, содержание радионуклидов в реке на этом участке не превышает допустимых значений для питьевой воды.

В настоящее время основным источником радиоактивного загрязнения являются подземные воды, разгружающиеся в р. Шаган на территории площадки "Балапан". При этом концентрация трития в подземных водах на этом участке превышает значение 4 500 000 Бк/кг. Впервые факт загрязнения тритием реки Шаган был установлен в 2006 году на расстоянии около 5 км от «Атомного озера». В отдельных пробах были отмечены превышения уровня вмешательства по тритию в десятки раз, что послужило толчком к дальнейшим исследованиям (рисунок 2).



Рисунок 2. Содержание трития в поверхностных водах

Отрезок реки длиной несколько км (примерно до 10 км) от «Атомного озера» стал объектом пристального внимания, и к настоящему времени изучен достаточно детально. Отобрано несколько сотен проб поверхностных и подрусловых вод, получена подробная картина распределения трития в поверхностных и подрусловых водах вдоль русла реки.

Вблизи реки Шаган расположено несколько зимовок, на которых постоянно проживают люди, и ведётся хозяйственная деятельность, в частности, содержание и выпас скота. Многократное превышение допустимых концентраций по тритию - это яркий симптом неблагополучия радиоэкологической обстановки. Данный радионуклид не только опасен сам по себе, но и может рассматриваться как предвестник появления других техногенных радионуклидов, так как является самым подвижным из них и выполняет роль индикатора миграционных процессов. В связи с чем на данном участке остро актуальными являются вопросы изучения радиоэкологической ситуации в целом, прогнозирования ее развития, оценки степени опасности и разработки рекомендаций по снижению воздействия радиоактивного загрязнения.

Организациями НЯЦ РК, в том числе ИРБЭ в настоящее время планомерно проводится целый комплекс исследований:

- гидрогеологические исследования;
- геофизические исследования;
- изучение характера загрязнения техногенными радионуклидами береговых грунтов и донных отложений;
- изучение характера загрязнения техногенными радионуклидами растительного покрова долины р. Шаган;
- изучение характера загрязнения техногенными радионуклидами продуктов животноводства;
- изучение характера загрязнения техногенными радионуклидами поверхностных и подрусловых вод р. Шаган.

Результаты исследований по всем этим направлениям в совокупности характеризуют общую экологическую ситуацию на участке. Одно из направлений – изучение характера загрязнения техногенными радионуклидами поверхностных и подрусловых вод р. Шаган – рассматривается как приоритетное, так как именно миграция радионуклидов в водной фазе создает картину радиационного загрязнения участка. Это направление в докладе рассмотрено более подробно, чем остальные. Для общего понимания ситуации важную информацию дают также гидрогеологические и геофизические исследования.

Характерной особенностью водоносного горизонта площадки Балапан является то, что на большей ее части территории водоносный горизонт располагается под водоупорными глинами неогена. Поверхность кровли водоносного горизонта имеет весьма сложную конфигурацию из-за невыдержанной мощности водоупорных глин, достигающей 70 м.

Данные, полученные ИГИ в 2009 г. [2], позволили уточнить рельеф пород палеозойского фундамента в пределах трехкилометрового участка русла р. Шаган и дополнить карту изогипс кровли водоносного горизонта. В изучаемой части подземного водного бассейна определённо имеется впадина с центром в районе «боевой» скважины 1414. В 1969 -1974 гг. на данном участке территории было произведено 7 подземных ядерных взрывов и упомянутая впадина может представлять собой «кладовую» сохранившихся техногенных нуклидов. В пойме р. Шаган, отмечаются участки без водоупорных глин неогена. Здесь трещиные воды непосредственно контактируют с поверхностными и могут являться источником радиоактивного загрязнения р. Шаган.

Из района упомянутой впадины в палеозойском фундаменте были пройдены профиля электроразведки и сейсморазведки и пробурен ряд гидрогеологических скважин. По полученным данным построен геолого-геофизический разрез, проясняющий геологическую ситуацию в изучаемом районе участка Балапан.

Факт выклинивания неогеновых глин в долине реки Шаган подтвержден, а так как воды напорные и пьезометрический уровень имеет уклон в сторону р. Шаган, то попадание загрязненных радионуклидами вод из упомянутой впадины в подрусловые и поверхностные воды р. Шаган представляется весьма вероятным. Пробы воды, отобранные из пробуренных скважин, частично подтверждают эту версию (таблица 1). В скважине 12а концентрация трития превышает 3 МБк/кг, что в несколько раз выше его содержания в водах р. Шаган, и можно считать, что данная скважина попала на канал миграции радионуклидов. Однако дальше следы канала миграции теряются - в следующей скважине - 13р - концентрация трития падает на два порядка и уже гораздо ниже его содержания в водах р. Шаган. Таким образом, если предполагаемый канал в данном месте существует, то его направление не совпадает с направлением геолого-геофизического разреза.

Кроме района предполагаемого источника, геолого-геофизические работы проводились также непосредственно в районе р. Шаган. По результатам работ были построены инженерно-геологические профиля. В пробах воды отобранных из пробуренных скважин высокие концентрации трития (до 140 кБк/кг), сравнимые с концентрациями в водах р. Шаган, обнаружены только на втором профиле, за рекой, по другую сторону от источника. Вероятно это воды, поступившие уже из р. Шаган. На первом профиле, со стороны источника, содержания трития не превышают 0,8 кБк/кг. Это говорит о том, что канал поступления радионуклидов находится не здесь, а скорее всего южнее района выполненных работ.

Скважина	Дебит, м <sup>3</sup> /сут	Водопро- водимость, м²/сут	Мощность водоносного горизонта, м	Коэффициент фильтрации, м/сут	H-3, кБк/кг	Sr-90, Бк/кг	Cs-137, Бк/кг
11a	86,40	3,00	50	0,060	$4,98 \pm 0,04$	0,008 ± 0,003	< 0,005
12a	43,20	3,40	40	0,085	3045 ± 1	114 ± 6	0,46 ± 0,11
13a	3,12	1,96	40	0,049	20,0 ± 0,1	32 ± 13	0,012 ± 0,004

Таблица 1. Результаты опробования скважин

Для оценки характера радиоактивного загрязнения техногенными радионуклидами береговой зоны реки Шаган были отобраны по следующей схеме:

- 17 проб донных отложений непосредственно в современном русле реки;
- 17 проб береговых грунтов прибрежной зоне на расстоянии 10 – 15 м от русла;
- 6 послойных проб грунтов в прибрежной зоне на глубину 30 см с интервалом 5 см.

Схема отбора проб представлена на рисунке 3.

Данные лабораторных анализов (рисунки 4-7) показали, что по содержанию Cs-137 часть проб грунтов могут быть отнесены к материалам ограниченного использования (от 300 Бк/кг до МЗУА). Уровни содержания остальных гамма-излучающих радионуклидов ниже уровней, регламентируемых НРБ-99.



Рисунок 3. Схема отбора проб



Рисунок 4. Удельная активность <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs в пробах береговых грунтов







Рисунок 5. Удельная активность <sup>60</sup>Со, <sup>152</sup>Еи, <sup>154</sup>Еи в пробах береговых грунтов



Рисунок 7. Удельная активность <sup>60</sup>Со, <sup>152</sup>Еи, <sup>154</sup>Еи в пробах донных отложений

По результатам исследований был отмечен следующий радионуклидный состав, обнаруженный в изученных пробах: помимо <sup>137</sup>Cs в донных отложениях содержались такие радионуклиды как: <sup>60</sup>Co, <sup>152</sup>Eu, <sup>154</sup>Еи и <sup>241</sup>Ат. Вдоль русла р. Шаган наблюдается четко выраженная зависимость между концентрациями радионуклидов, как в донных отложениях, так и в береговых грунтах и расстоянием до «Атомного» озера. Для выяснения более подробной картины распределения техногенных радионуклидов в донных отложениях и береговых грунтах р. Шаган в 2008 г. было проведено обследование двух участков русла реки с отбором поверхностных и послойных проб [3].

В целом, по характеру распределения в грунтах техногенных радионуклидов, можно отметить следующее. Основным радиоактивным загрязнителем является <sup>137</sup>Сs. Все максимальные значения удельной активности отмечены на участке 6,35 км. Стоит отметить, что на участке 1,9 км в донных отложениях современного русла реки, кроме <sup>137</sup>Cs, других радионуклидов не обнаружено, то на участке 6,35 км в аналогичной точке все установленные радионуклиды имеют высокие концентрации. По характеру распределения радионуклидов в грунтах на глубину можно отметить, что на левом берегу с глубиной отмечается снижение концентрации радионуклидов, то на правом берегу можно говорить лишь о слабо выраженной тенденции либо вообще об отсутствии такой особенности. Факт обнаружения достаточно высокой концентрации <sup>241</sup>Ат на достаточно большом расстоянии от «Атомного» озера требует более детального обследования данного участка.

В рамках исследования динамики радиоактивного загрязнения тритием растительного покрова русла р. Шаган на исследовательских площадках, включавших в себя часть русла реки, уступы и территорию прилегающих террас, проводился периодический отбор проб растений трех видов: тростник, произрастающий в воде, волоснец, распространенный по территории русла, и иногда занимающий уступ, и чий, произрастающий на террасе (рисунок 8).

Установлено, что коэффициент перехода трития из воды в растение составляет для тростника в среднем 0,49, для волоснеца 0,29, для чия 0,28.

Среднее поступление трития в растения для экосистемы р.Шаган составляет приблизительно треть

4

5\*

6

7

8

9\*

от содержания данного радионуклида в поверхностных и подрусловых водах.



Рисунок 8. Схема расположения исследовательских площадок в районе р. Шаган и удельная активность Н-3 в свободной воде растений

Для оценки пространственного распределения трития в растительном покрове в районе р. Шаган проведены исследования на прилегающих территориях. В качестве опытного растения был выбран чий.

Максимальные содержания трития отмечаются в растениях возле основного поверхностного водотока реки и заметно снижаются по мере удаления от него. Кроме того, выявлен участок заметного увеличения удельной активности трития в 4 км от русла в зоне понижения рельефа, что может быть связано с гидрологическими особенностями данного участка.

На зимовках Атомколь, Юбилейная и Сарапан, расположенных в непосредственной близости от р. Шаган, было отобрано и передано на анализ 9 проб сельскохозяйственной продукции. Результаты анализа приведены в таблице 2.

Удельная активность радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в пробах молока и кумыса, отобранных в мае, оказалась незначительной, что исключило необходимость определения их содержания в пробах в последующие месяцы.

Полученные значения удельной активности трития в молоке не превышают уровня вмешательства для населения, однако относятся только к летнему периоду, и в зимние месяцы могут существенно измениться.

(14±0,2) \*10<sup>2</sup>

(43±4) \*10<sup>2\*</sup> \*

(90±0,5) \*10<sup>2</sup>

(38±0,3) \*10<sup>2</sup>

(27±0,3) \*10<sup>2</sup>

(9±0,9) \*10<sup>2</sup> \*

-

'Sr 0,84±0,24

<0,16

-

	,	2 1	1	1 5 ,		
		Вид пробы	Пата отбора	Удельная	активность	, Бк/кг
апие зимовки	из проов	вид прооы	дата отобра	³Н	<sup>137</sup> Cs	9
Атомколь	1	кумыс	29.05.2008 г.	(1±0,1) *10 <sup>2</sup>	0,9±0,2	0,84
	2	молоко	30.05.2008 г.	(53±0,5) *10 <sup>2</sup>	1,7±0,3	<(
	3	молоко	25.06.2008 г.	(14±0,2)*10 <sup>2</sup>	-	

молоко

молоко

легочная ткань

молоко

молоко

молоко

Таблица 2. Результаты определения <sup>3</sup>Н в пробах сельхозпродукции

24.07.2008 г.

5.09.2008 г.

24.06.2008 г.

26.06.2008 г.

25.07.2008 г.

5.09.2008 г.

Названи

Юбилейная

Сарапан

Концентрация трития, зафиксированная в легочной ткани мелкого рогатого скота (зимовка Юбилейная) превышает уровень вмешательства для населения, что лишний раз подчеркивает актуальность проводимых исследований.

При исследовании состава вод русла реки Шаган, точки отбора проб условно дифференцировались в зависимости от расстояния от места выхода реки из внешнего водохранилища «Атомного озера».

Вода в р. Шаган в летний период присутствует не на всем протяжении русла. Вода присутствует на участках:

От 500 до 800 метров от «Атомного озера», в виде проявлений протяженностью 20-30 метров и шириной 1-3 метра.

На участке от 2,5 км до 6 км от «Атомного озера» вода присутствует на всем протяжении, ширина русла на участке составляет от 2 до 3 метров.

На участке 9 км от «Атомного озера» присутствует водоток протяженностью около 100 метров, шириной 11 метров и глубиной до 0,8 метров.

На остальных участках русла реки поверхностный водоток отсутствует. После 12 км поверхностные воды отсутствуют. На протяжении русла до 12 км от «Атомного озера» присутствует обильный растительный покров, что свидетельствует о залегании грунтовых вод близко к поверхности.

# Содержание трития в водах р. Шаган.

Отбор проб воды для определения содержания трития производился вдоль по руслу с интервалом 100 метров.

В результате исследований выявлено и многократно подтверждено наличие высоких концентраций трития в водах реки Шаган.

Удельная активность трития в воде колеблется в широком диапазоне значений. Пик активности трития находится между 4 и 5 километром от «Атомного» озера.

Распределение удельной активности трития на протяжении исследованного русла до 12 км от «Атомного озера» приведено на рисунке 9.



Рисунок 9. Значения удельной активности трития в русле р.Шаган

Начиная с 12 км от «Атомного озера» до участка впадения р. Шаган в р. Иртыш удельная активность трития в воде составляет не более 20 Бк/кг. Так как характер колебаний значений удельной активности трития наиболее выражен на участке межу 4 и 6 км от «Атомного озера», на данном интервале были проведены более детальные исследования удельной активности трития и общей минерализации вод. Был произведен отбор проб подрусловых вод, расстояние между точками отбора составляло 10 метров. В результате исследований был выявлен максимум удельной активности трития на участке 4,4 км от «Атомного озера», который составил 680 кБк/кг (рисунок 10).



Рисунок 10. Значения удельной активности трития в русле р.Шаган на участке между 4 и 6 км от «Атомного» озера

Удельная активность трития на исследованном участке изменяется скачкообразно, имея ярко выраженные точки максимума и минимума. Причиной такого распределения может служить сложная система водообмена между грунтовыми и русловыми водами с наличием нескольких участков подтока грунтовых вод. В целом, имеется тенденция к снижению значений удельной активности к 6 км.

# Содержание радионуклидов <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>239+240</sup>Pu в водах р. Шаган

Концентрация <sup>137</sup>Cs на исследованном участке русла реки находится ниже предела обнаружения измерительной аппаратуры, равного 0,03 Бк/кг.

В 2006-2008 гг. на протяжении русла реки осуществлялся отбор проб и определение в них удельной активности <sup>90</sup>Sr. Пробы для определения удельной активности стронция были отобраны с интервалами от 10 км до 40 км с целью предварительного определения степени загрязнения русла. Удельная активность <sup>90</sup>Sr составила от 30 мБк/кг до 2000 мБк/кг. Максимальные значения активности наблюдаются в интервале между 2км и 20 км от «Атомного озера». В 2009 г. однако, на данном участке наблюдались более низкие содержания <sup>90</sup>Sr.

Более детальные исследования содержания <sup>90</sup>Sr в водах реки Шаган в 2009 г. провести не удалось, ввиду отсутствия достаточного для анализа количества воды в русле. Необходимо дальнейшее изучение характера стронциевого загрязнения русла реки. Удельная активность <sup>239+240</sup>Pu ,на исследованном участке, находится ниже предела обнаружения измерительной аппаратуры, равного 5 мБк/кг.

# Содержание радионуклидов Am<sup>241</sup>, Eu<sup>152</sup> в водах р. Шаган

В 5 пробах воды были проведены определения содержания радионуклидов  $Am^{241}$ ,  $Eu^{152}$ . Удельная активность  $Eu^{152}$  в большинстве исследованных проб находится ниже предела обнаружения измерительной аппаратуры. В двух точках отбора (3 км и 5,6 км от «Атомного озера») удельная активность  $Eu^{152}$  составляет 1,8 мБк/кг и 2,8 мБк/кг. В результате исследований удалось обнаружить изотопы  $Am^{241}$  во всех пробах воды. Удельная активность  $Am^{241}$  в среднем составляет 2,5 мБк/кг.

Удельная активность  $Am^{241}$  и  $Eu^{152}$  не превышает минимально значимой активности для данных радионуклидов. Однако факт присутствия изотопов  $Am^{241}u$  $Eu^{152}$  свидетельствует об их способности мигрировать с грунтовыми и поверхностными водами на значительные расстояния от источника загрязнения.

# Содержание макро- и микрокомпонентов в водах р. Шаган

Наряду с определением содержания радионуклидов в водах реки Шаган был определен анионно-катионный состав, минерализация и содержание микроэлементов.

Определение химического состава вод реки проведено на протяжении 7 километров по руслу, начиная с отметки 1,5 км от «Атомного озера». Отбор проб проводился с интервалом 100 метров.

Воды реки Шаган на протяжении всего обследованного участка имеют очень высокое солесодержание. Диапазон значений общей минерализации составляет от 10 г/л до 30 г/л, по классификации В.И. Вернадского относятся к типу соленых вод (10-50 г/л).

Характер изменения концентраций основных макрокомпонентов состава вод реки во многом соответствует изменению значений общей минерализации (рисунок 11).



Рисунок 11. Концентрации основных макрокомпонентов вод реки Шаган на протяжении русла

Концентрации основных макрокомпонентов вод реки изменяются аналогично общей минерализации.

По катионно-анионному составу воды хлоридносульфатные, натриево-магниевые.

#### Исследование путей поступления радионуклидов в русло р. Шаган.

Наиболее вероятным путем поступления радионуклидного загрязнения в русло р. Шаган является вынос с грунтовыми водами. Основной участок разгрузки грунтовых вод предположительно находится на участке между 4 км и 5 км от «Атомного озера», для которого характерны максимальные значения удельной активности трития. На этом же участке находится один из минимумов значений общей минерализации вод. Надо отметить, что для всего исследованного русла резкие колебания как показателей минерализации, так и удельной активности трития, что свидетельствует о сложной системе водообмена между грунтовыми и поверхностными водами (рисунок 12).



Рисунок 12. Проекция графиков изменения удельной активности трития и общей минерализации на протяжении русла р. Шаган

Характер изменения концентраций основных макрокомпонентов состава вод реки во многом соответствует изменению значений общей минерализации, и подтверждает наличие нескольких областей разгрузки грунтовых вод в русле реки. Точки с минимальными значениями общей минерализации встречаются на всем протяжении исследуемого участка (до 9 км от «Атомного озера»), что подтверждает предположение о существовании нескольких областей разгрузки грунтовых вод.

Характер изменения концентраций основных макрокомпонентов состава вод реки во многом соответствует изменению значений общей минерализации, и подтверждает наличие нескольких областей разгрузки грунтовых вод в русле реки. При детальном исследовании участка русла между 4 км и 6 км от «Атомного озера», выявлена более чёткая корреляция между содержанием трития и минерализацией – иногда положительная, иногда отрицательная, но в обоих случаях отчетливо выраженная.

Можно предположить, что существует несколько источников поступления подземных вод в русло – как минимум три:

- Пресные, образующиеся за счет просачивания атмосферных осадков с поверхности, не содержащие трития;
- Среднеминерализованные (~10 г/л) и следовательно, поступающие с глубин в несколько сотен метров, содержащие тритий, вероятно поступают по зонам разломов, проходящих вблизи боевых скважин;
- Высокоминерализованные, поступающие с еще больших глубин. Не содержат трития, возможно поступают по другой системе разломов;

Вероятно, в точке 4,2 км происходит поступление вод 2 тип а – минерализация и содержание трития скачкообразно возрастают.

Факт, присутствия участков, на которых значения минерализации существенно ниже средних значений по руслу также свидетельствует о разгрузке грунтовых вод с более низкой минерализацией. В частности, результаты исследований показали, что грунтовые воды площадки Балапан имеют солесодержание в среднем 10 г/л, а следовательно, поступление этих вод в русло реки Шаган может вызывать наблюдаемый эффект резкого снижения уровня минерализации. Это является вполне возможным, принимая во внимание тот факт, что общая минерализация как и концентрации основных ионов в водах реки Шаган имеют довольно высокие значения и достигает на некоторых участках 30 г/л. Подобные концентрации солевого состава нехарактерны для речных вод. Большинство речных вод имеет минерализацию в пределах 0,5-0,9 г/л.

Для прогнозирования распространения радионуклидного загрязнения, необходимо дальнейшее исследование русла реки Шаган на всем её протяжении. В настоящее время в ИРБЭ проводится отработка метода радиоизотопной гидрогеологии [4], суть которого заключается в запуске в водоток радиоактивного индикатора <sup>131</sup>I, и отслеживании прохождения индикатора через наблюдательные створы. По результатам таких экспериментов можно оценить величину потерь воды из русла или поступления воды в русло и локализовать точки, где это происходит.

В прошлом году на р. Шаган был проведен пробный эксперимент такого рода. Пусковой створ располагался в 4,7 км от «Атомного озера», первый наблюдательный створ в 68 м, второй наблюдательный – в 128 м ниже по течению.

В результате проведенных гамма-спектрометрических измерений в части проб была определена удельная активность <sup>131</sup>І. По результатам измерений были построены индикаторные кривые, представленные на рисунке 13.



Рисунок 13. Индикаторные кривые

Полученные в результате проведения эксперимента данные позволили провести расчет основных гидрологических характеристик водотока. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Створ	Количество прошедше- го индикатора, МБк	Скорость движения переднего фронта индикатора, м/мин	Потери воды из русла, л/мин	Поступление воды в русло, л/мин
Пусковой	0,90	-	-	-
1 наблюдательный	0,55	1,74	127	163
2 наблюдательный	0,14	1,25	270	6

Таблица 3. Результаты расчетов индикаторного эксперимента

# Выводы

• В результате проведения комплекса полевых и лабораторных исследований установлен факт радиоактивного загрязнения техногенными радионуклидами различных компонентов экосистемы бассейна р. Шаган. Основным радиоактивным загрязнителем является <sup>3</sup>Н. Характер распределения техногенных радионуклидов в экосистеме р. Шаган имеет следующие особенности.

• Концентрация <sup>3</sup>Н в поверхностных водах изменяется от минимально детектируемой активности, равной 7 Бк/кг, до 2,6\*10<sup>5</sup> Бк/кг. Максимальная концентрация установлена на расстоянии 4,7 км от "Атомного" озера, минимальная в месте слияния рек Шаган и Иртыш.

• Содержание <sup>90</sup>Sr в водах реки изменяется от минимально детектируемой активности, равной 0,006 Бк/кг, до 3,3 Бк/кг. Максимальная концентрация установлена на расстоянии 6 км от "Атомного" озера. Содержание изотопов Cs<sup>137</sup>, Sr<sup>90</sup>, Pu<sup>239+240</sup> не превышает уровней вмешательства, установленных НРБ-99.

• В водах реки обнаружены радионуклиды Am<sup>241</sup>, Eu<sup>152</sup>, что свидетельствует о способности этих радионуклидов к миграции с грунтовыми и поверхностными водами на значительные расстояния, этот факт требует детального изучения

• С точки зрения водопользования показатель минерализации воды, содержания хлоридов и сульфатов, а также значение общей жесткости значительно превышает нормативы качества. в водах р Шаган обнаружены повышенные содержания урана, что вносит существенный вклад в радиационный фон р. Шаган Таким образом, вода в р. Шаган для питьевых целей не пригодна.

• На отметке русла реки, расположенной в 4,3 км от "Атомного" озера установлены максимальные концентрации трития в подрусловых и поверхностных водах  $4,7*10^5$  Бк/кг и  $6,8*10^5$  Бк/кг, соответственно. При этом более высокие значения в подрусловых водах указывают на то, что в данной точке установлен основной канал поступления загрязненных тритием подземных вод в бассейн р. Шаган.

• По результатам изучения химического состава воды на участке реки с наибольшим содержанием трития в воде отмечено существенное снижение содержания хлора в подрусловых водах, что свидетельствует о существовании на данном интервале участка разгрузки подземных вод.

• Характер распределения тритиевого загрязнения, а также макро- и микрокомпонентов химического состава в водах реки Шаган обусловлен сложной системой водообмена русловых и грунтовых вод. Для прогнозирования распространения тритиевого загрязнения, необходимо дальнейшее исследование русла реки Шаган на всем её протяжении.

• Наличие трития обнаружено во всех пробах растений, отобранных на берегах р. Шаган. Из трех исследуемых видов растений более высокие концентрации <sup>3</sup>Н наблюдаются в тростнике (*Phragmites australis*), что, по-видимому, связано с его произрастанием непосредственно в воде. По результатам проведенного расчета выявлено, что для всех мониторинговых площадок в течение всего периода проведения исследуемые виды растений поверхностные и подрусловые воды принимают почти одинаковое долевое участие. Среднее поступление <sup>3</sup>Н в растения для экосистемы р. Шаган составляет приблизительно треть от содержания данного радионуклида в поверхностных и подрусловых водах.

• Что касается продуктов животноводства, получаемых от домашнего скота, выпасаемого на загрязненной территории р. Шаган, то здесь ситуация неоднозначная. Отмечена тенденция снижения <sup>3</sup>Н в молоке, однако установлено, что концентрация <sup>3</sup>Н в мясе с зимовки "Юбилейная" достигает 9,0\*10<sup>3</sup> Бк/кг, что превышает УВ<sub>нас</sub>, составляющий 7,7\*10<sup>3</sup> Бк/кг (НРБ-99).

#### Литература

- Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного в рамках мероприятия 0346 "Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан" за 2007 год: годовой /ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов, 2007.– 107 с.;
- Отчет по Республиканской бюджетной программе 011 «Обеспечение Радиационной Безопасности» Мероприятие 1 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона», за 2009 год: информационный/ ИГИ НЯЦРК; рук. Дроздов А.В. – Курчатов, 2009 – 196 с.;
- Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного в рамках мероприятия 0346 "Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан" за 2008 год: годовой /ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов, 2008.– 98 с.;
- Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного в рамках мероприятия 0346 "Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан" за 2009 год: годовой /ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов, 2009.;

# ШАҒАН ӨЗ. ЭКОЖҮЙЕСІНІҢ ЖАЙ-КҮЙІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫНЫҢ НЕГІЗГІ МЕХАНИЗМДЕРІ

<sup>1)</sup>Айдарханов А.О., <sup>1)</sup>Лукашенко С.Н., <sup>1)</sup>Субботин С.Б., <sup>1)</sup>Эдомин В.И., <sup>1)</sup>Генова С.В., <sup>1)</sup>Ларионова Н.В., <sup>2)</sup>Пестов Е.Ю.

<sup>1)</sup>КР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан <sup>2)</sup>ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Бұл мақалада Шаған өзенінің экожүйесінің негізгі құрауыштарының радиоактивті ластану деңгейі мен сипатын анықтау мақсатында өткізілген радиоэкологиялық зерттеулер нәтижелері ұсынылған. Экожүйенің құрауыштарының ластануын қалыптастыратын негізгі механизмдер қарастырылды.

# SHAGAN RIVER ECOSYSTEMS AND FORMATION MECHANISMS

<sup>1)</sup>A.O. Aidarkhanov, <sup>1)</sup>S.N. Lukashenko, <sup>1)</sup>S.B. Subbotin, <sup>1)</sup>V.I. Edomin, <sup>1)</sup>S.V. Genova, <sup>1)</sup>N.V. Larionova, <sup>2)</sup>E.Yu. Pestov

<sup>1)</sup>Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan <sup>2)</sup>Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The article presents results of radio-ecological studies conducted to determine the nature and levels of radioactive contamination of ecosystem's main components on the Shagan River. The basic contamination mechanisms of the ecosystem components have been studied.

УДК 556.5 [574.4]

# ОЦЕНКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

#### Адылханова М.А., Бахтин Л.В.

#### Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Проведен анализ гидрогеологической обстановки северной части СИП, по полученным данным проведена классификация подземных вод по химическому составу. Выделены водоносные горизонты, на гидрогеологическую карту вынесены современные данные. Участок оценивается по качественной (питьевой) характеристике подземных вод.

Современное изучение территории Семипалатинского полигона предусматривает максимально полное обследование геоэкологической обстановки для определения участков, где подтверждена возможность безопасного проживания людей и животных, для передачи земель в хозяйственный оборот. Эту работу целенаправленно проводит РГП НЯЦ РК и его дочерними предприятиями с 2008 г. в рамках мероприятия 1 "Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона" бюджетной программы 011 «Обеспечение радиационной безопасности».

Гидрогеологическая обстановка - один из важнейших факторов для изучения и оценки. Гидрогеологические условия региона обусловлены и преобразуются под влиянием многих природных факторов. Среди них определяющим фактором являются физико-географические (рельеф, климат, поверхностные воды) и геолого-структурные факторы. В статье освещены результаты работы, проведенных в 2008 - 2009 гг. по северной части полигона, - полевых гидрогеологических исследований, химического анализа водных проб. Для получения гидрогеологических характеристик подземных вод изучались объекты водопользования, находящиеся на изучаемой территории.

#### ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮ-ЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Северная часть Семипалатинского испытательного полигона расположена (рисунок 1) в степной зоне, что определяет животный и растительный мир. Отмечается поясовое расположение форм рельефа между рекой Иртыш и горами Аркалык и Чингиз с постепенным повышением абсолютной высоты поверхности.

Атмосферная влага образует приходную часть подземного стока, а испарение – его потенциальную расходную часть. Одним из основных показателей, выступающим в качестве потенциальной величины питания подземных вод, являются запасы воды снега. При формировании подземного и поверхностного стока в качестве отрицательного фактора выступает испарение с поверхности суши и водоемов (испаряемость) и транспирация растениями. Резко-континентальный и засушливый климат обуславливает бедность поверхностных вод северной части полигона, а разнообразие рельефа – неравномерное распределение осадков по площади.

Поверхностные и подземные воды имеют прямую гидравлическую связь, поскольку питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод. Площади с достаточно интенсивным питанием поверхностных вод характеризуются развитием пресных подземных вод, в застойных условиях, при слабом водообмене, формируются солоноватые и соленые воды. Основные области питания подземных вод северной части полигона находятся на юго-западе, где они приурочены к низкогорью. Общее направление подземного стока - северо-восточное в сторону Ишим-Иртышской артезианской области (р. Иртыш). В центральной и северо-восточной части рассматриваемого участка прослеживается веерообразная система сухих русел, впадающих в основное русло Узынбулак. Ручей Узынбулак имеет сезонный режим и впадает в соленое пересыхающее озеро. В западной части также прослеживается пересохшее русло Ащиозек. Водность этих водотоков в основном зависит от объемов влаги в снеге, отчасти весенних и осенних обильных дождей.

#### ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ

Формирование и распределение подземных вод тесно связано с геолого-структурными особенностями территории. Геологические образования служат, прежде всего, водовмещающей средой, поэтому они и подземные воды, содержащиеся в них, безраздельно связаны друг с другом, кроме водоупорных глинистых образований.

Геологические образования имеют сложный стратиграфический разрез, в строении которого принимают участие различные по литологическому и петрографическому составу породы. Большая роль в геологическом строении принадлежит магматическим породам. Вулканическая и интрузивная деятельность характеризуется многообразием форм проявления. Разрывные нарушения являются важным структурным элементом в тектоническом строении региона. Основными глубинными разрывными структурами являются Калба-Чингизский и Чинрауский разломы (рисунок 1).

# ОЦЕНКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА



Рисунок 1. Северная часть территории СИП. Геолого-тектоническая схема

# ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЧАСТКА

Гидрогеологическая система территории включает в себя водоносные горизонты поровых вод и региональный комплекс трещинных вод (рисунок 2).

По материалам обработки имеющихся фактических данных по гидрогеологии района прошлых лет, на площади северной части полигона выделены следующие гидрогеологические подразделения: слабоводоносный современный озёрный горизонт (lQIV); водоносный верхнечетвертичный-современный аллювиальный горизонт (аQ<sub>III-IV</sub>); периодически водоносный современный аллювиально-пролювиальный горизонт (аpQII<sub>-IV</sub>); водоносный горизонт в отложениях средне-верхнепалеогенового возраста (P<sub>2-3</sub>); водоносный горизонт трещинных вод в породах палеозоя и мезозоя (PZ-MZ). Кроме перечисленных водоносных подразделений, существует водоупорный горизонт, приуроченный к неогеновым глинам (N).



1 - слабоводоносный современный озерный горизонт; 2 - водоносный верхнечетвертичный-современный аллювиальный горизонт; 3 - водоносный среднечетвертичный до современного аллювиально-пролювиальный горизонт; 4 - водоносный горизонт средне-верхнепалеогенового возраста; 5 - водоносный горизонт трещинных вод в породах палеозоя и мезозоя; 6 - водоупорные неогеновые глины; 7 - участки выхода пород фундамента на поверхность; 8 - родник нисходящий. Сверху - номер точки опробования; справа - минерализация, г/дм<sup>3</sup>; 9 - колодец. Сверху - номер точки опробования или номер по каталогу; слева - дебит, л/с; справа - в числителе - глубина до воды, м; в знаменателе - минерализация, г/дм<sup>3</sup>; 10 - скважина. Сверху - номер точки опробования или номер по каталогу; слева в числителе - дебит, л/с, в знаменателе - понижение уровня воды, м; справа - в числителе - глубина установившегося уровня, м; в знаменателе - минерализация, г/дм<sup>3</sup>; 11 - двойным кружком отмечены скважины по архивным данным 1974г; 12 - поверхностные водотоки. Цифры: слева- номер точки опробования; справа - минерализация, г/дм<sup>3</sup>; 13 - химический состав воды: с преобладанием а) НСО иона; 6) СI иона; в) SO<sub>4</sub> иона; г) смешанные двухкомпонентные; д) смешанные трёхкомпонентные; 14 - граница между участками с различной минерализацией; 15 – гидроизогипсы; 16 – направление движения подземных вод; 17 - граница СИП; 18 - граница северной части СИП; 19 - геологические разломы: а) региональные 1 порядка - сотни км.; 6) 2 порядка - > 30 км; в) 3 порядка - 10-30 км; г) 4 порядка - <10 км.

Рисунок 2. Северная часть территории СИП. Схематическая гидрогеологическая карта

Грунтовые воды потоков находятся в непрерывном движении: они под влиянием силы тяжести перемещаются от повышенных участков к пониженным. Движение происходит в зависимости от уклона рельефа, стрелками на гидрогеологической карте указано направление движения потока. Грунтовые воды представлены поровыми водами аллювиальных. аллювиально-пролювиальных отложений террас в долинах рек Ащиозек, Узынбулак, а также равнин, долин временных водотоков. Поровые воды четвертичных аллювиальных отложений безнапорные, залегают на глубине 2,5 - 3,5 м. Их можно отнести к гидрокарбонатно-хлоридным и сульфатнохлоридным типам. Подземные воды меняют состав от пресных, с минерализацией 0,3 -1,0 г/дм<sup>3</sup>, до солоноватых, с минерализацией до 4,6 г/дм<sup>3</sup>. Поровые воды четвертичных аллювиально-пролювиальных отложений безнапорные, залегают на глубине до 5,0 м, по типу - сульфатно-гидрокарбонатные, сульфатно-хлоридные, смешанные трехкомпонентные. Общая минерализация -0,3 - 4,6 г/дм<sup>3</sup>.

Трещинные воды наиболее широко распространены и приурочены к зоне экзогенной трещиновато-



а – колодец открытого типа



в - скважина закрытого типа

сти пород фундамента палеозоя и мезозоя. Химический состав и минерализация вод зависят от состава и свойств вмещающих пород, а также геоморфологических особенностей территории. Питание трещинных вод находится в прямой зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков и поступления из вышезалегающих водоносных горизонтов. В горной местности, особенно на плошадях развития гранитоидных интрузивных пород, преобладают гидрокарбонатные пресные воды. Несмотря на относительно хорошую обнаженность скальных пород, совокупное воздействие природных факторов не способствует формированию пресных вод в больших количествах. Поровые воды в рыхлых отложениях, в основном, имеют повышенную минерализацию, что свидетельствует об ограниченности естественных ресурсов.

На рассматриваемой территории изучены объекты водопользования, которые представляют собой колодцы и скважины двух типов: открытого и закрытого (бетонные сооружения оборудованы поилками для водопоя скота) - рисунок 3.



б – скважина открытого типа



г – колодец закрытого типа

Рисунок 3. Примеры объектов водопользования на изученной территории СИП

В 2008 - 2009 годах исследовано 100 объектов водопользования, на 58 из которых отобраны пробы воды на сокращенный химический анализ, проведены замеры уровня и температуры воды. Многие зимовки и хозяйственные фермы находятся в разрушенном состоянии. Имеются скважины, которые забиты мусором. Жители ряда зимовок (Аккудук, пос. 30 км, Кокш, объект водопользования № 31) для питья используют привозную воду. По результатам лабораторного анализа отобранных водных проб проведено определение типа подземных вод с использованием классификации С. А. Щукарева (таблица) - по преобладающим анионам и катионам, по вычисленным процент – эквивалентам. В классификации участвовали лишь те элементы, процентное содержание эквивалентов которых было не менее 25% (сумма миллиграмм-эквивалентов катионов и анионов принимается каждая за 100%) [3]. В общем случае последовательная комбинация типов вод по содержанию анионов с типами вод по содержанию катионов, приводит к получению 49 классов. По исходным данным (полевым и лабораторным) получено 18 классов природных вод. По общей минерализации каждый класс разделен на группы: А – с минерализацией до 1,5 г/дм<sup>3</sup>; В – от 1,5 до 10 г/дм<sup>3</sup> и С – более 10 г/дм<sup>3</sup>.



Таблица. - Классификация подземных вод (по С.А. Щукареву)

Примечание: цифры означают количество проб по данному типу воды

Как видно из таблицы, воды северной части территории СИП имеют пёстрый химический состав: сульфатно-гидрокарбонатный натриево-магниевый (2 пробы), сульфатно-гидрокарбонатный натриевый (11 проб), сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый (1 проба), сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный натриевый (5 проб), сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-магниевый (1 проба), сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный магниевый (1 проба), гидрокарбонатный натриево-магниевый (1 проба), гидрокарбонатный натриевый (1 проба), гидрокарбонатный натриевокальциевый (1 проба), хлоридно-гидрокарбонатный натриево-магниевый (1 проба), хлоридно-гидрокарбонатный натриевый (13 проб), хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый (2 пробы), хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-магниевый (1 проба), хлоридный натриевый (1 проба), сульфатнохлоридный натриево-магниевый (3 пробы), сульфатно-хлоридный натриево-кальциево-магниевый (1 проба), сульфатно-хлоридный натриевый (10 проб), сульфатный натриевый (2 пробы). В центральной, юго-западной, и небольшой области в северо-восточной части территории, подземные воды пресные – в основном гидрокарбонатные, смешанные двух- и трехкомпонентные. Пресные воды приурочены в основном к гранитному массиву.

Уровень подземных вод в скважинах и колодцах отмечается на глубинах до 20,0 м. Температура подземных вод зависит от климатических и геотермических условий района, в пределах которого формируется подземная вода. Геотермические условия, в свою очередь, определяются геологической структурой, историей развития и гидрогеологическими особенностями района. Температура подземных вод на объектах водопользования, изменялась в пределах от 8 до 15°С. По классификации О.А. Алекина [3], воды относятся к группе холодных. Разница в температурах подземных вод района объясняется размерами и глубиной каналов, по которым движется подземная вода, степенью нарушенности и водоносностью горных пород.

Минерализация подземных вод от пресных до солоноватых, изменяется от 0,3 г/дм<sup>3</sup> до 10,8 г/дм<sup>3</sup> (пос. 30 км имеет наиболее высокую минерализацию из всех исследованных точек – 10,8 г/дм<sup>3</sup>), по-

верхностных – от 0,2 г/дм<sup>3</sup> до 12,0 г/дм<sup>3</sup> (на объекте 34 – 12,0 г/дм<sup>3</sup>). Учитывая, что для питьевых целей минерализация воды не должна превышать 1г/дм<sup>3</sup>; установлено, что 38 водных объектов имеют минерализацию выше нормы.

По величине pH пресные и солоноватые воды имеют щелочную, нейтральную и кислую реакцию. pH составило 4 - 10, при нормативе 6 - 9. Жесткость воды обуславливается содержанием в ней солей каль-

ция и магния, по общей жёсткости - от очень мягких до очень жестких и изменяются в пределах 0,8 - 76,0, мг-экв/дм<sup>3</sup>. Наиболее высокую жесткость имеет объект 56-2 (76,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>). Для питьевых целей используются подземные воды с общей жесткостью не превышающих 7 мг-экв/дм<sup>3</sup>. На 22 водных объектах наблюдается превышение норматива. На рисунке 4 приведена внемасштабная карта, которая отражает качество воды на северной территории СИП.



Превышение ПДК по качеству воды: a) по минерализации, б) по содержанию Cl иона, в) по содержанию SO<sub>4</sub> иона, г) по общей жесткости; д) подземные воды, соответствующие нормативам по химическому составу

Рисунок 4. Северная территория СИП. Качество воды объектов водопользования

Как следует из рисунка, на рассматриваемой территории согласно нормативам питьевого качества воды имеет место превышение по минерализации, содержанию Cl -иона, содержанию SO<sub>4</sub> - иона, общей жесткости [6]. Расположение объектов, пригодных для питья, носит локальный характер (синие кружки). В основном такие объекты сосредоточены в центральной части рассматриваемой территории. Результаты обследования показали, что из всех объектов водопользования, 12 являются объектами на действующих зимовках (фермах), из которых только в пяти случаях подземные воды пригодны для питья. В остальных случаях имеется большое превышение ПДК по минерализации, хлору, сульфатам и общей жесткости. В качестве неудовлетворительного примера из всех действующих объектов можно выделить объект водопользования «30 км», который располагается на 30 км по трассе Курчатов – площадка Ш. Здесь наблюдается превышение по минерализации в 10 раз, по общей жесткости в 6 раз, по содержанию SO<sub>4</sub> иона в 3 раза, Cl иона в 5 раз. Вода не пригодна для питья человека и животных, а так же для орошения сельскохозяйственных культур.

По результатам изучения северной части СИП для проведения наблюдений за химическим и радионуклидным составом подземных вод были пробурены гидрогеологические наблюдательные скважины в двух точках, каждая - на двух водоносных горизонтах (рисунок 5).



Рисунок 5. Геолого-тектоническая схема с наблюдательными скважинами

Участки выбраны с учетом геоморфологических особенностей рельефа и предполагаемых направлений основных потоков подземных вод на возможных путях миграции радионуклидов со стороны площадки «Опытное поле».

# Выводы

В результате проведенных работ исследованы объекты водопользования, их состояние, уточнено их местоположение. Классифицированы подземные воды по основным гидрогеологическим параметрам и выделены объекты с предельно-допустимыми, для использования, показателями вод на рассматриваемой территории. Показана область распространения относительно пригодных, по классификации в ГОСТ, подземных вод [6].

По результатам сокращенного химического анализа проведена классификация подземных вод по типам и определены области распространения пригодных для использования подземных вод.

# Литература

- «Обеспечение безопасности бывшего СИП» в составе бюджетной программы 011 «Обеспечение радиационной безопасности» за 2008 г. Мероприятие 1 – Руководитель Дроздов А.В. – Курчатов, 2008. – 85 с.
- «Обеспечение безопасности бывшего СИП» в составе бюджетной программы 011 «Обеспечение радиационной безопасности» за 2009 г. Мероприятие 1 – Руководитель Дроздов А.В. – Курчатов, 2009. – 76 с.
- 3. Максимов, В.М. Справочное руководство гидрогеолога / В.М. Максимов // М.: Недра, 1979. том 1. 512 с.
- 4. Лукнер, Л. Моделирование миграции подземных вод / Л. Лукнер // М: Недра, 1986. 208 с.
- 5. Климентов, П.П. Общая гидрогеология / П.П. Климентов // М.: Недра, 1977. 357 с.
- 6. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.
- 7. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб / М.: Госстандарт России

# СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫ АУМАҒЫНЫҢ СОЛТҮСТІК БӨЛШЕГІНІҢ ГИДРОГЕОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫН БАҒАЛАУ

#### Адылханова М.А., Бахтин Л.В.

#### ҚР ҰЯО геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

ССП солтүстік бөлшегінің гидрогеологиялық жағдайларын талдауы жүргізілген, алынған деректері бойынша жерасты суларын химиялық құрамы бойынша жүйелеуі орындалған. Сулы горизонттары белгіленген, гидрогеологиялық карталарына қазіргі деректері шығарылған. Учаске, жерасты сулардың сапалық (ауыз су) сипаттамалары бойынша бағаланған.

# **EVALUATION OF HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE NORTHERN PART OF SEMIPALATINSK TEST SITE**

#### M.A. Adylkhanova, L.V. Bakhtin

#### Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Analysis of hydrogeological situation around the northern part of Semipalatinsk test site was done; underground water was categorized on its chemical content based on the obtained data. Water bearing horizons were distinguished; updates were plotted on a hydrogeological map. The area was assessed on the qualitative (potable) characteristics of underground water.

УДК 577.391:504.73:539.16

# ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМИ ЛУГОВОГО БИОГЕОЦЕНОЗА

#### Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Кабдыракова А.М., Кундузбаева А.Е.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты исследования количественных параметров переноса техногенных радионуклидов из почвы в растения, показан характер их перераспределения и динамики содержания в надземной части кустарника *Salix triandra* и отдельных видов естественных луговых трав. Дана оценка влияния некоторых физико-химических свойств почв на накопление радионуклидов растениями лугового биогеоценоза.

# Введение

Многолетний мониторинг загрязненных территорий в Чернобыле и на Южном Урале позволил ученым детально оценить параметры накопления радионуклидов, как сельскохозяйственными культурами, так и естественными растениями этих регионов. Основными результатами тех исследований стали данные о влиянии на накопление радионуклидов растениями ряда факторов, среди которых можно выделить: физико-химические свойства радионуклидов; агрохимические характеристики почв; биологические особенности растений [1, 2]. На основании экспериментальных опытов были установлены многочисленные закономерности между биологической доступностью радионуклидов и свойствами почв (гумусом, механическим составом, емкости поглощения и др.), параметрами накопления их растениями и биологическими особенностями самих растений и многое другое.

Однако для территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) важность изучения особенностей накопления радионуклидов растениями естественных биогеоценозов, учитывая природно-климатические особенности характерные только для данного региона, остается бесспорной и сейчас. Особенно актуальными подобные исследования становятся в условиях проведения масштабных работ по передаче земель полигона в хозяйственный оборот. В связи с этим появляется необходимость в достоверной информации о параметрах перехода радионуклидов из почвы в надземную часть растений данного региона, особенно для таких мало изученных радионуклидов как  $^{239+240}$ Ри и  $^{241}$ Am, данные по которым встречаются крайне редко даже в обобщенных материалах МАГАТЭ [3].

Особый интерес, с точки зрения изучения накопления искусственных радионуклидов, представляют собой растения луговых биогеоценозов, широко распространенные в поймах штольневых радиоактивнозагрязненных ручьев горного массива Дегелен, отличающиеся особенно большой способностью накапливать радионуклиды, что с одной стороны, обусловлено аккумуляцией дерниной радионуклидов в наиболее доступной для растений форме, а с другой стороны, особенностями формирования корневой системы самих луговых видов [4].

Полученные знания параметров накопления радионуклидов исследуемыми видами растений в дальнейшем будут использованы при расчете доз для населения, проживающего на территории СИП, а также могут послужить основанием для разработки как конкретных практических рекомендаций, направленных на решение проблемы радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова исследуемой территории, так и для комплекса мероприятий по снижению содержания радионуклидов в продукции, получаемой в условиях радиационного загрязнения.

#### Методы исследования

Исследования проводились на территории бывшего СИП в районе штолен № 176 и № 177 площадки «Дегелен» (одноименный горный массив Дегелен).

#### Изучение растительного покрова

Изучение растительного покрова территории проводилось отдельными методами геоботанического описания с выделением основных типов растительности, определением проективного покрытия и видового состава растений [5]. Одновременно с описанием производилось определение продуктивности растительного покрова методом укосов на 3-х площадках в 1 м<sup>2</sup> каждая (рисунок 1, а). При этом травянистые растения срезались на высоте 1-3 см, крупнотравье – 4-6 см, у полукустарников срезался или обрывался прирост текущего года. Для определения продуктивности в сухом весе срезанные растения раскладывались для просушивания до воздушно-сухого (ломкого) состояния и взвешивались.



Рисунок 1. Определение продуктивности растительного покрова методом укосов (а.), луговое разнотравье (б.), кустарники в пойме ручья (в.)

#### Интегральные радиационные параметры

Измерения радиационных параметров – плотности потока β-частиц и мощности экспозиционной дозы (МЭД), необходимых при выборе исследовательских площадок с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения, выполнялись при проведении экспедиционных работ в соответствие со стандартными методиками [6].

#### Физико-химический анализ почв

Механический состав почвы определялся пипетметодом, устанавливающим количественное соотношение в процентах почвенных фракций, охватывающих ту или иную группу частиц разного размера [7]. Определение содержания в почве гумуса проводилось по методу Тюрина в модификации Никитина [7]. Измерение рН проводилось методом, основанным на измерении величины рН водной вытяжки пород электродной системой, состоящей из индикаторного стеклянного электрода, потенциал которого определяется активностью водородных ионов в растворе, и вспомогательного проточного электрода сравнения с известным потенциалом [8].

#### Определение наиболее доступных растениям форм нахождения радионуклидов

Формы нахождения радионуклидов в почве определяли методом последовательного выщелачивания из почвы различными реагентами и определением их содержания в полученных вытяжках [9]. Для этого 100 г воздушно-сухой пробы почвы, просеянной через сито диаметром ячеек 1 мм, последовательно обрабатывали различными выщелачивающими растворами и получали соответствующие вытяжки. Соотношение почвы и выщелачивающего раствора во всех этапах эксперимента поддерживалось равным 1:5. Наиболее доступные растениям формы радионуклидов извлекали водой (водорастворимая форма) и 1 М раствором уксуснокислого аммония (обменная форма).

# Радионуклидный анализ

Анализы по измерению удельной активности радионуклидов в пробах почвы и растений проводились в соответствии с гостированными методическими указаниями на поверенной лабораторной аппаратуре [10,11]. Определение удельной активности радионуклидов <sup>137</sup>Сs и <sup>241</sup>Am проводилось на гаммаспектрометре Canberra GX-2020, <sup>90</sup>Sr – на бета-спектрометре «Прогресс», <sup>239+240</sup>Pu определяли радиохимическим выделением с последующим измерением на альфа-спектромертре Canberra, мод.7401. Предел обнаружения по <sup>137</sup>Cs составлял 1 Бк/кг (для проб растений) и 4 Бк/кг (для проб почвы), <sup>241</sup>Am – 0,3 Бк/кг и 1 Бк/кг, <sup>239+240</sup>Pu – 0,1 Бк/кг и 1 Бк/кг соответственно, <sup>90</sup>Sr – 200 Бк/кг. Погрешность измерений для <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am не превышала 10-20 %, <sup>90</sup>Sr – 15-25 %, <sup>239+240</sup>Pu – 30%.

# Расчет коэффициентов накопления (Кн)

Расчет коэффициентов накопления (Кн), необходимых для количественного описания параметров переноса радионуклидов из почвы в надземную часть растений, представлял собой отношение содержания радионуклида в единице массы растительности к содержанию радионуклида в единице массы почвы [4].

# Объекты исследования

# Почвы

Исследуемые почвы относятся к почвам лугового ряда – маломощные (мощность почвенной толщи в русле не превышает 40-45см, в береговой зоне – 20-25см), ввиду их незначительного по времени периода формирования, достаточно хорошо гумусированы, особенно по центру русла, хорошо промыты от легкорастворимых солей и карбонатов.

#### Растения

Основная биомасса растений лугового биогеоценоза сосредоточена в поймах радиоактивно-загрязненных водотоков штолен, где за счет дополнительного увлажнения во всем многообразии представлена луговая растительность (иван-чай (*Chamaenerium angustifolium*), бодяк (*Cirsium arvense*), пижма (*Tanacetum vulgare*), вейник (*Calamagrostis arundinacea*), крапива (*Urtica dioica*), вероника (*Veronica spuria*), мята (*Mentha interrupta*), щавель (*Rumex confertus*), герань (*Geranium collinum*), кровохлебка (*Sanguisorba officinalis*), живокость (*Delphinium dictyocarpum*) и др.) (Рисунок 1, б). Проективное покрытие растительного покрова поймы достигает 90 %, продуктивность составляет 3-5 ц/га. Вдоль русел водотоков произрастают кустарниковые заросли (Рисунок 1, в) с участием ивы (Salix triandra, S. viminalis) и шиповника (Rosa spinosissima), в местах максимального увлажнения распространены заросли тростника (Phragmites australis).

Растительный покров подгорной равнины представлен остепненными луговыми ценозами (волоснец (Leymus angustus), люцерна (Medicago falcata), подорожник (Plantago cornuti), тысячелистник (Achillea asiatica), лапчатка (Potentilla bifurca, P. dealbata), додарция (Dodartia orientalis), синеголовник (Eryngium planum), солонечник (Galatella biflora), василек (Centaurea ruthenica) и др.). Проективное покрытие варьирует от 50 до 70 %, продуктивность – 2-3 ц/га.

Наиболее интересными объектами площадки «Дегелен» с точки зрения радиоэкологических исследований являются представители луговой растительности, приуроченной к местам повышенного увлажнения районов штольневых водотоков, характеризующихся, как правило, высоким радиоактивным загрязнением, а также кустарники, способные за счет глубоко проникающей корневой системы характеризовать более глубокие слои подземной сферы. Так, объектами исследования в данной работе выбраны, повсеместно распространенные, некоторые представители лугового разнотравья (пижма (*Tanacetum vulgare*), иван-чай (*Chamaenerium angustifolium*), бодяк (*Cirsium arvense*), волоснец (Leymus angustus)) и кустарники шиповник (Rosa spinosissima) и ива (Salix triandra), характеризующиеся относительно высокой биомассой, необходимой для проведения ряда экспериментов.

#### Результаты и обсуждение

#### Изучение характера перераспределения и динамики содержания радионуклидов в надземной части растений

Для изучения характера перераспределения и динамики содержания радионуклидов в надземной части растений в районе поверхностного радиоактивно-загрязненного водотока штольни № 177 заложено 3 мониторинговые площадки. На каждой площадке в течение всего вегетационного сезона (с апреля по октябрь) производился периодический отбор (каждые 15 дней) проб отдельных органов (генеративных (цветки) и вегетативных (листья и стебли, в т.ч. стебли прошлого года и прирост)) кустарника – ивы (*Salix triandra*). Во всех пробах определялась удельная активность радионуклидов <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>241</sup>Am и <sup>239+240</sup>Pu.

На гистограмме (рисунок 2) показано усредненное отношение содержания радионуклидов <sup>137</sup>Cs,  $^{90}$ Sr и <sup>239+240</sup>Pu в вегетативных (стеблях и листьях) и генеративных (цветках) органах ивы (*Salix triandra*) по данным с трех мониторинговых площадок за весь период исследования нормированное на концентрацию в стеблях. Значения удельной активности <sup>241</sup>Am в растениях оказались ниже предела обнаружения.



Рисунок 2. Среднее отношение содержания радионуклидов  $^{137}$ Cs,  $^{90}$ Sr и  $^{239+240}$ Pu в различных органах ивы (Salix triandra)

Концентрация радионуклидов <sup>137</sup>Сѕ и <sup>90</sup>Sг в генеративных органах (цветках) в целом ниже, чем в вегетативных (листьях и стеблях), хотя содержание <sup>137</sup>Сѕ в цветках превышает его содержание в стеблях, при этом основное содержание обоих радионуклидов отмечается в листьях. Относительно значимые же величины удельной активности <sup>239+240</sup>Pu чаще всего встречаются именно в цветках (1,4 – 2,3 Бк/кг) и сравнительно меньшие в вегетативных органах (0,6 – 1,8 Бк/кг).

Динамика содержания радионуклидов в отдельных органах ивы (*Salix triandra*), показанная на графике (рисунок 3), представлена только для одной мониторинговой площадки и только для радионуклида <sup>90</sup>Sr из-за отсутствия достаточного количества значимых активностей  $^{137}$ Cs,  $^{241}$ Am и  $^{239+240}$ Pu.

Как видно их графика, определенная тенденция роста концентрации радионуклида <sup>90</sup>Sr в иве (*Salix triandra*) прослеживается для листьев и стеблей прироста, при этом значения удельной активности <sup>90</sup>Sr в стеблях прошлого года в среднем варьируют в пределах погрешности. В целом динамика содержания <sup>90</sup>Sr в рассмотренных вегетативных органах ивы (*Salix triandra*) имеет достаточно сложный характер, что может быть связано, как с условиями произрастания (непосредственно в радиоактивно-загрязненном водотоке), так и с физиологическими особенностями исследуемого растения.



Рисунок 3. Динамика значений удельной активности <sup>90</sup>Sr в иве (Salix triandra)

Дополнительные исследования динамики содержания радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в надземной части растений в течение вегетационного периода в зависимости от основных фаз вегетации проводились для отдельных видов естественных луговых трав в районе штольни № 176. Для этого на 6 исследовательских площадках производился периодический отбор (через каждые 15 дней) проб надземной части растений (волоснеца (*Leymus angustus*) и пижмы (*Tanacetum vulgare*)). Динамика средних значений удельной активности <sup>90</sup>Sr для каждого вида представлена на графике (рисунок 4).

Анализ полученных данных показывает, что содержание радионуклида <sup>90</sup>Sr в анализируемых видах растений возрастает в течение всего вегетационного периода. Максимальное накопление приходится на осенние месяцы: для пижмы – в сентябре, для волоснеца – сентябре-октябре.

Совершенно иная картина динамики содержания получена для радионуклида <sup>137</sup>Cs в исследуемых видах растений (рисунок 5).



Рисунок 4. Динамика средних величин удельной активности <sup>90</sup>Sr в растениях в течение всего вегетационного периода



Рисунок 5. Динамика содержания <sup>137</sup>Cs в растениях (пижма (а.) и волоснец (б.)) в течение всего вегетационного периода

На основании полученных результатов, можно сказать, что динамика содержания радионуклида <sup>137</sup>Cs имеет различный характер, как для разных видов исследуемых растений, так и для разных исследовательских площадок, при этом накопление <sup>137</sup>Cs в надземной части к концу вегетационного периода прослеживается только для волоснеца. В целом же кривые динамики содержания радионуклида <sup>137</sup>Cs в надземной части исследуемых растений носят значительно более сложный характер, чем кривые по <sup>90</sup>Sr.

# Выявление количественных параметров переноса радионуклидов из почвы в надземную часть растений

Для выявления количественных параметров переноса радионуклидов из почвы в надземную часть растений в местах радиоактивного загрязнения вдоль водотоков штолен № 176 и № 177 заложено соответственно 30 и 36 исследовательских площадок, на которых сопряжено производился отбор проб почвы и определенных видов растений (рисунок 6). В качестве опытных видов растений в районе штольни № 176 выбраны пижма (*Tanacetum vulgare*), шиповник (*Rosa spinosissima*) и волоснец (*Leymus angustus*), в районе штольни № 177 – пижма (*Tanacetum vulgare*), иванчай (*Chamaenerium angustifolium*) и бодяк (*Cirsium arvense*). Площадь отбора растений не превышала 1

кв.м. Почва отбиралась методом "укола", на глубину наиболее корнеобитаемого почвенного слоя до скальных пород (20 см).

В пробах, отобранных в районе штольни № 176, определялась удельная активность радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, в районе штольни № 177 – <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>239+240</sup>Pu и <sup>241</sup>Am. Данные содержания радионуклидов в исследуемых видах растений и почвах представлены в таблице 1.

Уровень радиоактивного загрязнения, как почв, так и растений выбранных исследовательских площадок варьирует в довольно широком диапазоне. Наибольшие концентрации характерны для радионуклида <sup>90</sup>Sr, при этом содержание <sup>137</sup>Cs в некоторых растениях в районе штольни № 177 оказалось ниже предела обнаружения, а значения удельной активности <sup>241</sup>Am в растениях минимальны и зачастую количественно не определены. Удельная активность радионуклида <sup>239+240</sup>Pu пока представлена только для исследовательских площадок с заведомо известным его высоким содержанием в почвах.

В таблице 2 приведены коэффициенты накопления (Кн) <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr и <sup>239+240</sup>Pu исследуемыми видами растений. Значения Кн <sup>241</sup>Am из-за недостатка количественных величин удельной активности указаны оценочно.



Рисунок 6. Схема расположения исследовательских площадок в районе штольни № 176 (а.) и штольни № 177 (б.)

Таблица 1. Диапазоны значений удельной активности радионуклидов <sup>137</sup> Cs, <sup>90</sup> Sr, <sup>239+240</sup> Pu и <sup>241</sup> An	п
в исследуемых растениях и почвах в районе штолен № 176 и № 177	

05- 0/7		Диапазон значений удельной активности, Бк/кг								
Ооъек	ιτ 	<sup>137</sup> C:	s	90	"Sr	<sup>239+240</sup> Pu		241	Am	
исследов	ания	min	max	min	max	min	max	min	max	
	пижма	$(0,12\pm0,02)*10^3$	(8,7±0,1)*10 <sup>4</sup>	$(12\pm2)*10^3$	(2,5±0,3)*10 <sup>4</sup>	-*	-*	-*	_*	
	шиповник	(0,03±0,01)*10 <sup>3</sup>	(1,2±0,1)*10 <sup>4</sup>	4,4±0,8)*10 <sup>3</sup>	(2,7±0,4)*10 <sup>4</sup>	-*	-*	-*	-*	
штольня № 176	волоснец	(0,03±0,01)*10 <sup>3</sup>	(5,4±0,1)*10 <sup>4</sup>	3,9±0,8)*10 <sup>3</sup>	(2,1±0,3)*10 <sup>4</sup>	-*	-*	-*	-*	
	почва	(0,03±0,01)*10 <sup>3</sup>	(45,2±0,1) *10 <sup>4</sup>	0,6±0,2) *10 <sup>3</sup>	$(3,3\pm0,4)$ *10 <sup>4</sup>	-*	-*	-*	_*	
	пижма	_**	101±3	$(30\pm4)^{*}10^{3}$	(85±10)*10 <sup>3</sup>	2±0,5	51±4	-**	_**	
	иван-чай	_**	38±4	$(7\pm1)^{*}10^{3}$	$(150\pm20)*10^3$	6±1	12±2	-**	2±1	
	бодяк	_**	540±4	100±10)*10 <sup>3</sup>	(320±40)*10 <sup>3</sup>	-*	-*	-**	4±1	
	почва	16±3	$(1,1\pm0,1)*10^4$	1,8±0,4)*10 <sup>3</sup>	(130±15)*10 <sup>3</sup>	(2,9±0,04)*10 <sup>3</sup>	$(12,2\pm0,1)$ *10 <sup>3</sup>	-**	680±10	
* - данные отсут ** - ниже преде	гствуют па обнаруже	ния <sup>. 137</sup> Cs - <0.1: <sup>241</sup> .	Am - <0.3							

	Кн									
BORMOUNWENELL		штольня № 176			штольня № 177	-				
Гадионуклиды	волоснец	шиповник	пижма	пижма	иван-чай	бодяк				
<sup>137</sup> Cs	<u>1,30 (n=10)</u> 0,05 - 7,50	<u>2,60 (n=10)</u> 0,01 - 13,20	<u>2,80 (n=10)</u> 0,01 - 16,30	<u>0,02 (n=10)</u> 0,002 – 0,06	<u>0,20 (n=12)</u> 0,001 – 1,00	<u>0,10 (n=11)</u> 0,008 – 0,60				
<sup>90</sup> Sr	<u>3,30 (n=10)</u> 0,90 - 9,50	<u>2,00 (n=10)</u> 0,40 - 4,50	<u>1,80 (n=10)</u> 0,80 - 5,70	<u>0,80 (n=11)</u> 0,50 – 1,40	<u>1,30 (n=13)</u> 0,50 – 4,00	<u>2,47 (n=11)</u> 1,80 – 3,20				
<sup>239+240</sup> Pu	-*	-*	-*	<u>0,009 (n=4)</u> 0,0003 – 0,02	<u>0,002 (n=2)</u> 0,0006 – 0,003	-*				
<sup>241</sup> Am	-*	-*	-*	<0,03 (n=10)	<0,13 (n=12)	<0,09 (n=9)				
Примечание: в числителе – среднее арифметическое, в скобках – число случаев, в знаменателе – диапазон значений, * - данные отсутствуют										

Таблица 2. Диапазоны значений Кн радионуклидов в районе штолен № 176 и № 177

На основании сравнительного анализа можно отметить, что несмотря на относительно небольшую площадь исследуемых территорий, идентичность климатических условий и типа почвы, а также отбор проб растений по видам диапазон значений Кн радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в районе обеих штолен варьирует в неожиданно широких пределах. Для радионуклида <sup>90</sup>Sr он составляет один порядок, для <sup>137</sup>Cs достигает трех. Оценочные значения Кн <sup>241</sup>Am растениями в районе штольни № 177 в среднем не превышают десятых. Кн <sup>239+240</sup>Pu находятся в пределах от 0,0001 до 0,01.

Сравнительное распределение Кн радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr исследуемыми видами растений в районе обеих штолен представлено в виде гистограммы частоты встречаемости их значений, выраженных в виде десятичных логарифмов (рисунок 7).

Различия в распределении значений Кн видны, как для отдельных видов растений, так и для разных

радионуклидов, причем более резко выражены для <sup>137</sup>Сs, чем для <sup>90</sup>Sr. Так, в районе штольни № 176 для волоснеца диапазон значений Кн<sup>137</sup>Сs меньше (два порядка), чем для пижмы и шиповника (по три порядка), а в районе штольни № 177 – диапазон значений Кн<sup>137</sup>Сs меньше для пижмы (один порядок), чем для бодяка (два порядка) и иван-чая (три порядка). Средние же значения Кн  $^{90}$ Sr в отличие от  $^{137}$ Cs в целом смещены в сторону больших величин, следовательно, в большей степени в растениях накапливается именно <sup>90</sup>Sr. Определенное исключение составляют данные для пижмы в районе штольни № 177, средние значения Кн <sup>90</sup>Sr которой не превышают единицы. Также, необходимо отметить, что определенный сдвиг значений Кн<sup>137</sup>Сs в сторону меньших величин прослеживается для всех исследуемых растений в районе штольни № 177.



Рисунок 7. Распределение значений Lg KH <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr исследуемыми растениями в районе штолен № 176 и № 177

# Оценка влияния некоторых физико-химических свойств почв на накопление радионуклидов растениями

Оценка влияния физико-химических свойств на накопление радионуклидов растениями из-за недостатка количественных данных по  $^{239+240}$ Pu и  $^{241}$ Am рассмотрена только для  $^{137}$ Cs и  $^{90}$ Sr.

В таблице 3 представлены результаты корреляционного анализа Кн<sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr с некоторыми физико-химическими свойствами почв и процентным содержанием в ней форм нахождения радионуклидов. Значения коэффициентов корреляции для водорастворимой формы <sup>137</sup>Cs отсутствуют из-за очень низкой концентрации.

Некоторая прямая корреляционная зависимость наблюдается между Кн<sup>137</sup>Cs и обменной формой содержания данного радионуклида в почвах. Статистически достоверные положительные значения коэффициентов корреляции характерны для всех исследуемых видов растений между Кн<sup>90</sup>Sr и его водорастворимой формой содержания в почвах в районе штольни № 176, и обменной – в районе штольни № 177.

Рассматривая значения коэффициентов корреляции между Кн и физико-химическими свойствами исследуемых почв, можно сказать о возможном наличие значимого влияния на величину накопления исследуемыми растениями радионуклидов <sup>137</sup>Сs и <sup>90</sup>Sr физической глины в районе штольни № 176. В остальных случаях полученные результаты носят весьма противоречивый характер и не выявляют никаких закономерностей.

Отсутствие зависимостей накопления радионуклидов растениями от физико-химических свойств почв в этом случае может быть связано с недостаточным диапазоном варьирования данного фактора в пределах одного из рассматриваемых биогеоценозов (в районе штольни № 176 или № 177). Однако возможность причинно-следственной связи между Кн и некоторыми физико-химическими свойствами почв может быть обнаружена при обобщение результатов по обеим штольням для пижмы (рисунок 8).

Таблица 3. Корреляционные связи Кн радионуклидов и физико-химических свойств почв и содержания форм нахождения радионуклидов

Сравниваемые признаки			Физико-химические свойства почв				Формы нахождения радионуклидов (% от общего содержания в почве)		
			Гумус, %	рН	Физическая глина, %	Сумма солей, %	Водорастворимая Об		менная
							<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
Кн <sup>137</sup> Cs	штольня № 176	пижма	-0,60	0,65	0,41	0,61	-	0,55	-
		шиповник	0,24	-0,25	0,76	0,73	-	0,70	-
		волоснец	-0,67	0,20	0,63	-0,21	-	0,38	-
	штольня № 177	пижма	0,23	-0,38	-0,06	-0,13	-	0,57	-
		иван-чай	0,60	0,33	0,02	0,22	-	-*	-
		бодяк	0,49	0,45	-0,05	-0,01	-	-*	-
Кн <sup>90</sup> Sr	штольня № 176	пижма	-0,32	0,79	0,68	0,41	0,70	-	0,06
		шиповник	-0,20	-0,14	0,79	0,49	0,86	-	-0,37
		волоснец	-0,43	0,09	0,73	0,20	0,65	-	-0,22
	штольня № 177	пижма	-0,04	-0,01	-0,57	-0,09	-0,26		0,74
		иван-чай	0,19	0,19	0,35	-0,24	_*	-	-*
		бодяк	-0,02	0,17	0,28	0,13	_*	-	-*

\* - данные отсутствуют



Рисунок 8. Зависимость Кн от некоторых физико-химических свойств луговых почв (для пижмы)

Представленные графики отражают как разницу в значениях Кн, так и разницу в физико-химических свойствах почв для обеих штолен. Так, почвы в районе штольни № 176 характеризуются более легким механическим составом, и лучше промыты от водорастворимых солей, чем почвы в районе штольни № 177, при этом содержание гумуса в районе обеих штолен относительно одинаковое, а Кн как <sup>137</sup>Cs так и <sup>90</sup>Sr для пижмы в районе штольни № 176 выше, чем в районе штольни № 177. Таким образом, можно предположить, что сравнительно меньшее накопление радионуклидов растениями в районе штольни

№ 177, может быть связано именно с более тяжелым механическим составом и повышенным содержанием солей в почвах в районе этой штольни.

Подобный анализ проведем и для форм нахождения радионуклидов в почвах районов штолен № 176 и № 177 (рисунок 9).

Полученные зависимости также в целом подтверждают определенное влияние более высокого содержания в почвах наиболее доступных растениям форм радионуклидов (водорастворимой и обменной) на повышение уровня их накопления растениями, в частности пижмой в районе штольни № 176.



Рисунок 9. Зависимость Кн от форм нахождения радионуклидов (для пижмы)

#### Выводы

По результатам исследования особенностей перераспределения и динамики содержания радионуклидов в надземной части растений основная концентрация <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr отмечена в листьях, <sup>239+240</sup>Pu – в цветках. При этом содержание радионуклида <sup>90</sup>Sr в растениях резко увеличивается с началом цветения и возрастает в течение всего вегетационного периода, максимальное накопление приходится на осенние месяцы.

Выявлено, что в условиях лугового биогеоценоза накопление радионуклидов исследуемыми видами

# растений изменяется в широких пределах. Диапазон значений Кн <sup>90</sup>Sr составляет один порядок, <sup>137</sup>Cs достигает трех. Причем для <sup>137</sup>Cs эти различия еще более резко выражены, чем для <sup>90</sup>Sr. Оценочные значения Кн <sup>241</sup>Am в среднем не превышают десятых, Кн <sup>239+240</sup>Pu находятся в пределах от 0,0001 до 0,01.

Установлено, что наибольшие значения Кн<sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr для луговых растений характерны для почв с более легким механическим составом и повышенным содержанием наиболее доступных растениям форм радионуклидов (водорастворимой и обменной).

#### Литература

- 1. Сельскохозяйственная радиоэкология / под ред. академика ВАСХНИЛ Р.М.Алексахина и академика ВАСХНИЛ Н.А.Корнеева. М.: 1991.- С.56-89.
- Куликов И.В. Радиоэкология почвенно-растительного покрова/ И.В.Куликов, И.В. Молчанова, Е.Н.Караваева. -Свердловск: УрО Ан СССР, 1990. - С. 61-76
- 3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments, IAEA -TECDOC-1616, IAEA. Vienna, 2009.
- 4. Анненков Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии/ Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. Москва, 1991. С.56-83.
- 5. Полевая геоботаника Т. 1. М.: Наука, 1959. 444с.
  - Т. 2. М.: Наука, 1960. 500с.
  - Т. 3. М.: Наука, 1964. 530с.
  - Т. 4. М.: Наука, 1972. 336с.
  - Т. 5. М.: Наука, 1976. 320с.
- Инструкция и методические указания по наземному обследованию радиационной обстановки на загрязненной территории: утв. Межведомственной комиссией по радиационному контролю природной среды при Госкомгидромете СССР. - М., 1989.
- Сборник методических указаний по лабораторным исследованиям почв и растительности Республики Казахстан / под рук. Дюсенбекова З.Д.; Государственный научно-производственный центр земельных ресурсов и землеустройства. – Алматы, 1998. – 222 с.
- ГОСТ 17.5.4.01–84. Метод определения pH водной вытяжки вскрышных и вмещающих пород. Охрана природы. Рекультивация земель. – Введ. 01.07.85. – Изд. Стандартов. – М, 1985.
- 9. Практикум по агрохимии / под ред. В. Г. Минеева. М. : МГУ, 2001. 268 с.
- 10. МИ 5.06.001.98 РК «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гаммаспектрометре МИ 2143-91» - 18 с.

11. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс», Менделеево, - 20 с.

# ЖАЙЫЛЫМДЫҚ БИОГЕОЦЕНОЗ ӨСІМДІКТЕРІНДЕ ТЕХНОГЕНДІ РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ ЖИНАҚТАЛУ ЕРЕКШЕЛІГІ

#### Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Қабдырақова А.М., Құндұзбаева А.Е.

#### ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Бұл мақалада техногенді радионуклидтердің топырақтан өсімдіктерге тасымалдануының мөлшерлік параметрін зерттеу нәтижелері, олардың қайта бөліну сипаты мен *Salix triandra* бұтасының және табиғи жайылымдық шөптердің жеке бір түрлерінің жерасты бөлігіндегі құрамының қарқыны берілген. Топырақтың кейбір физико-химиялық қасиеттерінің жайылымдық биогеценоз өсімдіктерінде радионуклидтердің жинақталуына әсер етуін бағалау жұмыстары жасалды.

# PECULIARITIES OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES ACCUMULATION IN PLANTS OF MEADOW BIOGEOCENOSIS

# N.V. Larionova, S.N. Lukashenko, A.M. Kabdyrakova, A.E. Kunduzbaeva

# Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The article presents the results of the study of quantitative parameters of artificial radionuclides transfer from soil to plants, gives the nature of their redistribution and dynamics of the content in overground part of shrub *Salix triandra* and some kinds of natural meadow grasses. There was estimated the influence of some physico-chemical properties of soil on the radionuclides accumulation in meadow biogeocenosis plants
# УДК 543.51

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УРАНА В МОЧЕ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

#### Эдомская М.А., Желтов Д.А., Бердинова Н.М., Силачев И.Ю.

#### Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Разработана простая и эффективная методическая схема определения содержании урана в моче человека методом квадрупольной масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Показана возможность определения содержания урана в образцах мочи без длительного хранения методом прямого масс-спектрометрического измерения. Выполнена оценка правильности измерения содержания урана методом добавок, установлено систематическое занижение результатов измерения, для коррекции которого использован метод внутренней стандартизации. После метрологической аттестации разработанной методической схемы, представляется возможность получения сертификационных данных по содержанию урана в человеческой моче.

Количественный элементный анализ биологических жидкостей человека рассматривается как важнейшая составляющая исследований профессионального риска здоровью и играет ведущую роль при диагностике различных функциональных нарушений.

Уран и его соединения имеют высокую химическую токсичность. Особенно опасны аэрозоли урана и его соединений. При попадании в организм уран действует на все органы, являясь общеклеточным ядом. Молекулярный механизм действия урана связан с его способностью подавлять активность ферментов [1-2].

Мониторинг содержания урана в биологических жидкостях (крови, моче и др.) – предмет растущего интереса медиков, гигиенистов и биохимиков в связи с влиянием урана на физиологические функции организма. Для решения данной задачи могут быть использованы современные инструментальные методы элементного анализа такие как атомно-абсорбционный, атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) и масс-спектрометрический с ИСП. По совокупности таких показателей как точность, предел обнаружения, избирательность и экспрессность, последний метод занимает лидирующее положение.

Цель настоящей работы – разработка простой и эффективной методической схемы масс-спектрометрического определения содержания урана в моче человека.

Для выбора условий хранения проб мочи и пробоподготовки учитывались рекомендации [3].

В процессе работы разработаны два варианта методической схемы масс-спектрометрического определением содержания урана в моче:

- Прямое количественное измерение урана в разбавленной моче (для «свежих» проб мочи, рисунок 1).
- 2. Кислотное разложение в автоклаве для проб мочи с длительным хранением (рисунок 2).



Рисунок 2. Методического схема измерения содержания урана в моче с предварительным кислотным разложением

Для первого варианта методической схемы (рисунок 1) моча (утренняя или суточная) забирается в объеме не менее 5 мл. Для хранения мочу помещают в герметичную посуду (из лабораторного пластика), и хранят в холодильнике не более 3 суток при температуре от 0°С до  $+4^{\circ}$ С.

Для второго варианта методической схемы моча (утренняя или суточная) забирается в объеме не менее 5 мл, затем отбирается точная аликвота 1-2 мл, которую можно хранить длительное время в обычных условиях.

Экспериментальным путем разработана следующая схема разложения мочи. Аликвоту образца 1-2 мл помещают во вкладыш автоклава (рисунок 3), добавляют 5 мл концентрированной азотной кислоты, 1,5 мл 30 % раствора пероксида водорода. Автоклав помещают в печь разогретую до 160°С, выдерживают 2,5 часа. Охлажденный автоклав встряхивают для перемешивания содержимого. Разложенная проба представляет собой бесцветный или желтоватый прозрачный раствор. Растворенную пробу количественно переносят в пробирку вместимостью 15 мл, доводят до 10 мл бидистиллированной водой.



Крышка корпуса (фторопласт-4); 2 – Крышка вкладыша (фторопласт-4); 3 – Корпус вкладыша (фторопласт-4); 4 – Корпус автоклава (фторопласт-4); А – смесь реагентов; Б – аликвота пробы мочи

Рисунок 3. Конструкция автоклава для кислотного разложения

Масс-спектрометрические измерения выполняли на квадрупольном масс-спектрометре Elan-9000 (Perkin Elmer SCIEX). В процессе экспериментальных исследований выбран оптимальный инструментальный режим работы масс-спектрометра [4]:

- подводимая мощность к плазме: 1000 Вт;
- расход распыляющего газа: 0,83-0,93 л/мин;
- тип сканирования: прыжки по пикам;
- режим детектирования: dual;
- число сканирований на измерение: 20-25;
- число измерений на реплику: 1;
- число реплик: 3;
- задержка перед чтением: 10-15 с.;
- время измерения: ≈10-15 с.

Для градуировки масс-спектрометра использовали градуировочные растворы с содержанием урана 5 мкг/л и 10 мкг/л, приготовленные разбавлением стандарта PerkinElmer Pure Plus № 9300231 с аттестованным значением содержания урана (10,0±0,1) мкг/мл.

Оценка правильности определения содержания урана в моче проведена методом добавок (таблица 1), использованы «условно чистые» пробы мочи от разных доноров. Данные таблицы 1 свидетельствуют о значительном занижении результатов анализа, обусловленном влиянием органической матрицы пробы (не исключенная систематическая погрешность).

Для компенсации матричного влияния (вязкость образцов, влияние макрокомпонентов и т.д.) использовали широко распространенный в спектрометрической практике метод внутренней стандартизации. Применительно к масс-спектрометрии выбирают изотоп элемента, претерпевающего сходное с определяемым элементом матричное влияние и отсутствующий в объектах анализа. В данной работе использовали Bi-209 (моноизотоп), являющийся подходящим внутренним стандартом для области тяжелых масс. Во все пробы для измерения (рисунки 1 и 2), а также в градуировочные растворы (в т.ч. в «нулевой» градуировочный раствор) вводили Bi-209 из расчета 5 нг/мл.

В таблице 2 приведены результаты масс-спектрометрических измерений тех же проб мочи (таблица 1) с применением внутренней стандартизации. Данные таблицы 2, в первом приближении свидетельствуют о случайном характере погрешности результатов (относительное расхождение между измеренным значением и значением добавки).

Номер пробы (условный)	Пробоподготовка	Введено урана, мкг/л	Найдено урана, мкг/л	Матричное занижение, %
1			6,35	-36,5
2	Разбавление		6,07	-39,3
3	(вариант 1,	10	6,97	-30,3
4	рисунок 1)		6,77	-32,3
5			7,01	-29,9
1	кислотное разложение (вариант 2, рисунок 2)	10	8,37	-16,3
2			7,37	-26,3
3			7,43	-25,7
4			8,74	-12,6
5			8,42	-15,8

Таблица 1. Результаты оценки правильности масс-спектрометрических измерений методом добавок

Номер пробы (условный)	Пробоподготовка	Введено урана, мкг/л	Найдено урана, мкг/л	Отн. погрешность, %
1			9,55	-4,5
2			9,17	-8,3
3	разбавление	10	10,48	+4,8
4			10,77	+7,7
5			10,51	+5,1
1			10,45	+4,5
2			9,34	-6,6
3	кислотное разложение	10	10,79	+7,9
4			9,57	-4,3
5			9,13	-8,7

Таблица 2. Результаты масс-спектрометрических измерений проб мочи с внутренней стандартизацией по Ві-209

Методом добавок, с использованием образца «чистой» мочи, выполнена оценка чувствительности и инструментального предела обнаружения ( $3\sigma$ -критерий) масс-спектрометрического определения урана, которые составили 160000±40000 имп/с на 1 мкг/л U и 0,01 мкг/л, соответственно. Методические пределы обнаружения, рассчитанные в соответствии с используемой схемой пробоподготовки образцов мочи, составили 0,1 мкг/л и 0,05 мкг/л для первого и второго вариантов методической схемы.

Разработанная методическая схема определения урана успешно используется в Центре комплексных экологических исследований (ДГП ИЯФ) для оценочного мониторинга профессионального риска здоровью персонала, работающего на некоторых предприятиях Семипалатинского испытательного полигона и НАК «Казатомпром».

# Выводы

В процессе исследований разработана простая и эффективная методическая схема, позволяющая получать точные данные о содержании урана в моче человека. Показана возможность точного определения содержания урана в образцах мочи без длительного хранения методом прямого масс-спектрометрического измерения.

Разработанная методическая схема, после ее метрологической аттестации, может быть использована для получения сертификационных данных по содержанию урана в человеческой моче.

# Литература

- 1. Гуськова, В.Н. Уран. Радиационно-гигиеническая характеристика / В.Н. Гуськова. М.: Атомиздат, 1972 216 с.
- Андреева, О.С. Природный и обогащенный уран. Радиационно-гигиенические аспекты / О.С. Андреева, В.И. Бадьин, А.Н. Корнилов – М.: Атомиздат, 1972 – 216 с.
- 3. МУК 4.1.985-00. Определение содержания токсичных элементов в пищевых продуктах и продовольственном сырье. Методика автоклавной пробоподготовки – М.: Федеральный цетр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003 – 56 с. Зарегистрирован ЮФ РГП «КазИнСт» №022/10532 от 14.04.2006.
- ИСО 17294-2:2003. Качество воды применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Часть 2: Определение 62 элементов. – Швейцария, 2003. Принят и введен в действие приказом Комитета по техническому регулированию и метрологии Министерства индустрии и торговли РК от 1 августа 2006г. №370.

# ЗӘРДЕГІ УРАН МӨЛШЕРІН ИНДУКТИВТІ БАЙЛАНЫСҚАН ПЛАЗМАЛЫ МАС-СПЕКТРМЕТРИЯЯЯЯЯ ӘДІСІМЕН АНЫҚТАУ» МАҚАЛАСЫНА

# Эдомская М.А., Желтов Д.А., Бердинова Н.М., Силачев И.Ю.

# ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Адамның зәріндегі уран мөлшерін индуктивті байланысқан плазмалы квадрупольдік масс-спектрметрия әдісімен анықтаудың қарапайым және тиімді әдістемелік сүлбесі әзірленді. Ұзақ сақтамай-ақ зәр үлгілеріндегі уран мөлшерін тікелей масс-спектрметрлік өлшеу әдісімен анықтау мүмкіндігі көрсетілді. Қоспа әдісімен уранның мөлшерін өлшеудің дұрыстығын бағалау орындалды, өлшеулер нәтижелерінің жүйелі төмендетілуі анықталды, оны түзету үшін ішкі стандарттау әдісі қолданылды. Әзірленген әдістемелік сүлбені метрологиялық аттестаттаудан кейін, адам зәріндегі уранның мөлшері бойынша сертификатталған деректерді алу мүмкіндігі ашылды.

### DETERMINATION OF URANIUM CONTENT IN URINE BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA-MASS SPECTROMETRY

#### M.A. Edomskaya, D.A. Zheltov, N.M. Berdinova, I.Y. Silachyov

#### Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Development of simple and effective procedure for determination of uranium in human urine by inductively coupled plasma-mass spectrometry quadrupole method. The possibility of uranium determination in urine samples avoiding long-term storage by the method of direct mass-spectrometric measurement was represented. The correctness assessment of analysis for uranium by additives, the establishment of systematic underrating of measurement results, which was corrected by the method of internal standardization, were made. Following metrological attestation of developed procedure, it is possible to obtain certification data on uranium content in human urine.

# СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНСПЕКЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ СИП

<sup>1)</sup>Беляшов А., <sup>2)</sup>Мукушева М., <sup>1)</sup>Шайторов В., <sup>1)</sup>Ефремов М., <sup>1)</sup>Дроздов А.

<sup>1)</sup>Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан <sup>2)</sup>Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов

Описаны результаты геолого-геофизических наблюдений на двух площадках СИП – Балапан и Дегелен, для изучения феноменологии подземного ядерного взрыва (ПЯВ) и развития технологий Инспекции на месте. Использованы пассивные и активные сейсмические методы, электрометрия, магнитометрия и ртутометрия. В результате исследований доказано, что технические и геологические условия проведения ПЯВ существенно влияют на выбор геолого-геофизических методик для решения инспекционных задач.

#### Введение

В период с 2004 по 2008 гг. в ходе выполнения проекта НТП 04.01.03 Н «Разработка геолого-геофизических методов "Инспекции на месте" в рамках ДВЗЯИ на примере СИП» [1] были проведены геофизические наблюдения на двух боевых площадках бывшего Семипалатинского испытательного полигона – Балапан и Дегелен. В ходе работ были использованы следующие технологии: пассивная и активная сейсмометрии, магнитометрия, электрометрия и ртутометрия. Основные задачи работ включали в себя изучение феноменологии подземных ядерных взрывов (ПЯВ) и адаптация и совершенствование различных геолого-геофизических технологий для решения задач Инспекции на месте (ИНМ).

Представленные площадки различаются параметрами проведения подземных ядерных взрывов – на площадке Балапан взрывы выполнялись в вертикальных скважинах, на площадке Дегелен – в горизонтальных штольнях. Кроме технических условий выполнения ПЯВ, эти две площадки отличаются и в геологическом плане – если площадка Балапан представлена преимущественно осадочными, осадочно-пирокластическими и эффузивными породами с отдельными выходами интрузивных образований, то на площадке Дегелен преобладают скальные геологические породы. Для решения инспекционных задач в зависимости от параметров проведения ПЯВ необходимо выбирать определённые геофизические технологии.

#### ПЛОЩАДКА БАЛАПАН

Данная площадка представлена результатами наблюдений на двух боевых скважинах – 1388 и 1220. Подземные взрывы были выполнены в вертикальных скважинах, тем не менее, условия проведения данных ПЯВ различаются по техническим и геологическим параметрам. Взрыв в скважине 1220 выполнен в гранитах на глубине 427 м, мощность - 190 кТ; взрыв в скважине 1388 проведён в осадочно-эффузивных породах на глубине 530 м, мощность – 117 кТ.

Исходя из технических параметров проведения взрывов (в первую очередь, глубины и геологических условий в приочаговой зоне и на дневной поверхности), был определён список геолого-геофизических технологий для выявления глубинных последствий от ПЯВ в представленных скважинах. Технологический список включил в себя пассивный сейсмический метод обменных волн землетрясений (МОВЗ), активные сейсмические методы рефрагированных (МРВ) и дифрагированно-рассеянных волн (МДРВ), магнитометрию, электрометрию и ртутометрию.

#### Скважина 1388

# Метод обменных волн землетрясений [2, 3]

С учётом априорной информации о размерах поствзрывной зоны разрушений (приблизительно 300х300 м<sup>2</sup>) была выбрана радиально-лучевая система наблюдений. Количество пунктов наблюдения составило 39 физических точек. В ходе работ был использован аппаратурно-программный комплекс, состоящий пяти комплектов цифровых станций DAS РМD-6102. Для регистрации сейсмических сигналов использовались трёхкомпонентные датчики СК-1П. Отличительной особенностью проведения данных полевых работ, обусловленной необходимостью соблюдения режима выполнения ИНМ, было отсутствие заранее разбитой топографической сети - система наблюдений выбиралась и устанавливалась непосредственно на площади исследований. Координаты пунктов наблюдения определялись с помощью GPS Garmina. Продолжительность непрерывных наблюдений составила 11 суток.

В результате обработки полевого материала была построена объёмная модель поверхности первого обмена (рисунок 1). На объёмную модель поверхности первого обмена вынесены проекции устья скважины 1388, пунктов наблюдения и точки обмена. Согласно проведённому анализу, зона активных и общих поствзрывных разрушений, имеющая размеры приблизительно 400х400 м<sup>2</sup>, отличается от вмещающей среды относительно небольшими глубинами залегания. Значения глубины для данной зоны лежат в интервале от - 30 до - 300 метров, тогда как глубина залегания поверхности первого обмена для окружающих горных пород лежит в интервале от - 500 до - 900 метров. Учитывая глубину проведения ПЯВ в скважине 1388 (530 м), данную ситуацию можно объяснить образованием поверхности откола над гипоцентром взрыва. В целом, представленная модель поверхности первого обмена описывает характерные особенности строения нарушенного подземным взрывом участка горных пород – наблюдается блоковая структура среды с наличием вертикальных границ раздела и других нарушений сплошности.



1 – проекция устья скважины 1388 на поверхность первого обмена, 2 – проекции пунктов наблюдения и их номера, 3 – точка обмена

Рисунок 1. К результатам геолого-геофизических наблюдений в районе скважины 1388: объёмная модель поверхности первого обмена, полученная с использованием МОВЗ в районе скважины 1388

#### Метод дифрагированно-рассеянных волн [4-6]

В полевых наблюдениях МДРВ в качестве источника упругих колебаний использована установка «падающий груз», имеющая энергию порядка 12-15 кДж. Прием колебаний – вертикальными сейсмоприемниками DF-8. Регистратор – цифровой, с шагом квантования сигнала 1 мс и длиной записи 1.3 с. Возбуждение и прием упругих колебаний осуществлялись по системе непродольных профилей. В результате обработки полевого сейсмического материала были построены разрезы поля энергии дифрагированно-рассеянных волн (рисунок 2а).

В районе гипоцентра ПЯВ по сейсмическим данным установлено локальное аномальное повышение энергии рассеянных (дифрагированных) волн. В целом, повышенные значения энергии рассеянных волн (ЭРВ) охватывают область радиусом до 500-600 метров. Такие явления связаны с повышенной способностью к рассеиванию упругой энергии трещинных структур, усиливающейся по мере увеличения степени трещиноватости разреза. Учитывая эти сведения, а также деструктивный характер механического воздействия ПЯВ, область аномально высокого рассеяния упругих волн, прилегающая к гипоцентру взрыва, вполне логично объясняется наличием зоны максимальной трещиноватости и дробления диаметром порядка 300 метров, обрамляющей полость. Тогда конфигурация, в том числе, линейно вытянутых зон повышенного рассеяния, сопряженных с основной аномальной зоной ЭРВ, определяет направления динамического воздействия ядерного взрыва во вмещающей среде. Границы, где рассеяние упругих волн выходит на фоновые значения, соответствуют границам внешнего контура механического воздействия ПЯВ в этой скважине.

# Электрометрия (ЗСБ) [7]

Наблюдения выполнены по двум ортогональным профилям с пересечением у устья скважины 1388, ориентированным с юга на север и с запада на восток. Длина каждого профиля составила 1 км. Использована цифровая электроразведочная станция «Цикл-6» (СНИИГГиМС, Россия), размещенная на базе автомобиля ЗИЛ-131. Вариант измерений - незаземленная совмещенная петля. Размер измерительной установки (петли) - 200 х 200 м. Шаг перемещения петли по профилю - 100 метров. Количество физических точек наблюдения - 28. Измерения и запись результатов проводились программой "Tcikl-5" (СНИИГГиМС, Россия), входящей в комплект станции «Цикл-6».

Продолжительность полевых работ на скважине 1388 методом ЗСБ составила приблизительно 3 суток для описанных параметров наблюдений. По данным наблюдений в течение следующих после измерений суток построен геоэлектрический разрез кажущегося сопротивления (рисунок 26). На разрезе область пониженных значений кажущегося сопротивления приурочена к зоне активных поствзрывных разрушений горных пород. Относительно небольшие временные затраты при получении окончательного результата характеризуют электрометрический метод ЗСБ как потенциально эффективный для решения задач ИНМ.

#### СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНСПЕКЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ СИП







1 - скважина 1388, 2 - гипоцентр ПЯВ, 3 - разрывные нарушения

б – геоэлектрический разрез района скважины 1388 по значениям кажущегося сопротивления

Рисунок 2. К результатам геофизических наблюдений в районе скважины 1388: а; б

#### Картирование магнитного поля [8]

В ходе работ использовались протонные пешеходные магнитометры ММ-61 (Казгеофизприбор, Геомер), имеющие встроенную память и выход для сброса накопленной информации на ЭВМ. Наблюдения выполнялись на площади 960х1100 м<sup>2</sup> по сети 40х20 м, количество физических точек - 1400. Продолжительность наблюдений – 5 дней. Построен вариант карты изодинам вектора магнитной индукции Земли без учета аномальных значений, образованных металлическим оголовком боевой скважины (рисунок 3).



 устье боевой скважины 1388, 2 – площадь измерений магнитной восприимчивости горных пород (300х300 м)

Рисунок 3. Карта изодинам вектора магнитной индукции ДТ в районе скважины 1388 На представленном рисунке выделяется обширное по простиранию поле отрицательных значений магнитного поля, вытянутое в северном направлении (величина измеренных значений магнитного поля ниже значений нормального поля на изучаемом участке). Согласно результатам наблюдений, выполненным ранее с целью изучения поствзрывных изменений магнитного поля в местах проведения скважинных ПЯВ, данное поле отрицательных значений трактуется как отрицательная составляющая аномалии, образованная обсадной колонной боевой скважины.

# Скважина 1220 Метод обменных волн землетрясений

В ходе наблюдений использованы сейсмические цифровые станции DAS PMD-6102, трёхкомпонентные сейсмические датчики СК-1П. Конфигурация системы наблюдений МОВЗ была определена как радиально-лучевая с учётом опыта работ в других местах изучения мест проведения ПЯВ. Общее количество пунктов наблюдения составило 40. Координаты пунктов наблюдения определены после расстановки с использованием прибора GPS "Etrex Garmina". Непрерывные полевые наблюдения выполнялись в течение 12 суток, при этом зарегистрировано порядка 85 Гб цифровой информации. В результате обработки полевого материала была построена объёмная модель поверхности первого обмена (рисунок 4).

По результатам анализа полученной модели поверхности первого обмена можно судить о характере проявления последствий от проведённого в скважине 1220 подземного ядерного взрыва. Над гипоцентром взрыва образовалась куполообразная поверхность откола, общей площадью приблизительно 600х600 м<sup>2</sup>. Данная поверхность откола располагается в интервале глубин от - 10 до - 200 метров. Учитывая глубину проведения ПЯВ в скважине 1220 (427 м), данную ситуацию можно объяснить образованием поверхности откола над гипоцентром взрыва. В целом, представленная модель поверхности первого обмена описывает характерные особенности строения нарушенного подземным взрывом участка горных пород – наблюдается блоковая структура среды с наличием вертикальных границ раздела и других нарушений сплошности.



1 – проекция устья скважины 1220 на поверхность первого обмена, 2 – проекции пунктов наблюдения и их номера, 3 – точка обмена

Рисунок 4. Объёмная модель поверхности первого обмена, полученная с использованием метода обменных волн землетрясений в районе скважины 1220 (участок Балапан, СИП)

#### Метод дифрагированно-рассеянных волн

В ходе исследований применена ортогональная, центросимметричная относительно устья скважины система наблюдений, состоящая из четырех сегментов, каждый из которых составляет пару: линия приема – линия возбуждения. Возбуждение упругих колебаний осуществлялось невзрывным источником («падающий груз» с освобождаемой энергией порядка 12 кДж). Прием упругих колебаний по каждой линии возбуждения осуществлялся линейной расстановкой из 48 вертикальных сейсмоприемников типа DF-8 с шагом 10 метров, регистрация – цифровой сейсмостанцией с накоплением воздействий. В результате обработки полученных записей построены вертикальные разрезы в ортогональных плоскостях (рисунок 5).

По данным зондирования МДРВ установлено, что уровень нормального поля энергии рассеянных волн для этой площадки составляет порядка 6000 усл. единиц. Согласно полученному распределению поля энергии рассеянных волн максимальными ее значениями (более 14000 усл. ед.) выделена область, прилегающая к гипоцентру ПЯВ в интервале глубин от - 500 до - 150-180 метров с горизонтальной мощностью порядка 250 - 300 метров. Эта область проинтерпретирована как зона максимальной трещиноватости и дробления, обусловленная деструктивным действием ПЯВ, направленным преимущественно в вертикальном направлении и проявившемся на значительном удалении от гипоцентра ПЯВ. Очевидно, что асимметричность и вытянутость этой области свидетельствует о существенной анизотропии прочностных свойств геологической среды, прилегающей к гипоцентру ПЯВ. По мере удаления от гипоцентра ПЯВ наблюдается и снижение уровня энергии рассеянных волн. По повышенным значениям ЭРВ (более 10000 усл. ед.) определены границы области повышенной трещиноватости. Характерной особенностью конфигурации области повышенной трещиноватости является ее простирание по латерали преимущественно в широтном направлении на расстояние до 500 и более метров, а по вертикали до 300 метров от гипоцентра ПЯВ. Кроме указанных зон максимальной и повышенной поствзрывной трещиноватости следует отметить наличие вытянутой зоны повышения энергии рассеянных волн на восточном фланге широтного профиля, имеющей тектоническое происхождение.

# Метод рефрагированных волн [9]

При выполнении данного вида работ исполнители ставили перед собой задачу получения информации о состоянии верхней части разреза (ВЧР) блока земной коры, подверженного воздействию ПЯВ. Наблюдения выполнялись по двум ортогональным сейсмическим профилям длиной 1380 метров каждый. Азимутальное направление профилей: юг-север, запад-восток. Шаг между пунктами взрыва составил 115 м, между пунктами наблюдения – 10 м. Устье скважины 1220 расположено в месте пересечения профилей на пикетной отметке 700 м. В качестве источника возбуждения упругих сейсмических колебаний был использован падающий груз. Упругие сейсмические колебания регистрировались одновременно двумя 24-канальными цифровыми станциями ИСН-01-24 с помощью вертикальных сейсмометров DF-8. Полученные на выходе сборные файлы формата SEG-Y представляли собой волновые поля для каждого пункта взрыва. В результате обработки полевого материала были построены разрезы в линиях равных скоростей для участка наблюдений (рисунок 6).

В случае данных наблюдений метод рефрагированных волн оказался малоэффективен из-за небольшой мощности источника упругих колебаний



и, соответственно, недостаточной глубины исследований (до 150 метров при глубине взрыва 430 метров). С целью просвечивания среды до глубины проведения ПЯВ (400-600 м на участке Балапан, СИП) необходимо использовать более мощные источники – сильные виброисточники, химические взрывы. Это приведёт к увеличению интрузивности инспекционных технологий, т.е. большему воздействию на окружающую среду, что нежелательно при проведении ИНМ.





1 - зона максимальной трещиноватости и дробления в районе гипоцентра ПЯВ, 2 - зоны повышенной трещиноватости, 3 – изолинии энергии рассеянных (дифрагированных) волн в у.е., 4 – гипоцентр ПЯВ





Рисунок 6. Двухмерные разрезы в линиях равных скоростей, полученные с помощью метода рефрагированных волн в районе скважины 1220 (устье скважины расположено в точке пересечения профилей)

Тем не менее, даже на относительно небольшой глубине удалось выявить следы проведения ПЯВ. На линии пересечения плоскостей скоростных разрезов над гипоцентром подземного взрыва расположена область повышенных значений скорости продольных волн, которую, косвенно, можно трактовать как область повышенных значений плотности горных пород. Данная область имеет размеры 400х400 м<sup>2</sup> и её кровля расположена на глубине приблизительно - 30 м, что соответствует результатам наблюдений с использованием метода дифрагированно-рассеянных волн (рисунок 5). На скоростных разрезах проявилась ещё одна характерная особенность влияния подземных взрывов на вмещающую среду – образование в околовзрывном пространстве чередующихся высоко- и низкоскоростных зон. Появление данных зон обусловлено механизмом распространения в среде продольной волны, которая, учитывая импульсный точечный характер источника, является в момент взрыва доминирующей.

#### Картирование магнитного поля

Измерения выполнялись на двух участках наблюдения, площадь измерений для которых составила 1 км<sup>2</sup> и 50х50 м<sup>2</sup> соответственно. Сеть наблюдений на площадке 1 км<sup>2</sup> составила 40х20 метров, на площадке 50х50 м<sup>2</sup> составила 1х1 метр. Продолжительность наблюдений – 2 дня. Профили ориентированы с Юга на Север, нумерация профилей с Запада на Восток. Наблюдения проводились протонными магнитометрами MM-61, имеющими встроенную память, и выход для сброса накопленной информации на ЭВМ.

На рисунке 7а представлены результаты проведенных исследований на площадке 1 км<sup>2</sup> в виде карты изодинам модуля вектора магнитной индукции Земли (ΔТ). На большей части площади исследований значения магнитного поля выше нормального на 50 – 100 нТл за счет влияния гранитоилной интрузии. Ферромагнитные конструкции (обсадная колонна, измерительные кабели и т.д.), оставшиеся в месте проведения ПЯВ в скважине 1220, вызывают в магнитном поле аномалию со значениями, превышающими уровень нормального поля на 1500 нТл. Следующий элемент, изучаемый при картировании магнитного поля в рамках решения задач ИНМ - состояние вмещающих пород (гранитоидной интрузии). Магнитное поле, создаваемое гранитоидной интрузией, неоднородно, что свидетельствует о нарушении целостности массива. Данное нарушение, вероятнее всего, связано с воздействием ПЯВ на вмещающую среду. На рисунке 76 представлены результаты проведенных исследований на площадке 50х50 м<sup>2</sup> в виде карты изодинам модуля вектора магнитной индукции Земли ( $\Delta T$ ). Более плотная сеть наблюдений (с шагом 1 метр) позволила с большей детальностью изучить характер влияния остатков ферромагнитных конструкций в месте проведения подземного взрыва на магнитное поле участка исследований. Максимальное значение модуля вектора магнитной индукции Земли  $\Delta T$  в приустьевой зоне составило 25000 нТл.



Рисунок 7. Карта изодинам модуля вектора магнитной индукции Земли ДТ в районе скважины 1220

#### Электрометрия (ЗСБ)

Наблюдения проводились по двум ортогональным профилям с пересечением у устья скважины. Длина каждого профиля составила 2 км. Размер измерительной установки (петля) – 200х200 м<sup>2</sup>. Шаг перемещения петли по профилю – 100 метров со сгущением наблюдений от пикета 950 до пикета 1050 до 50 метров. На проведение измерений по заданным профилям было потрачено 12 часов. Измерения выполнялись цифровой электроразведочной станцией «Цикл-5» в варианте «незаземленная совмещенная петля», управление станцией осуществлялось PC «notebook», подбор размера установки (L генераторной и приемной петли), проведен с помощью программы "ПРОБА" (разработчик СНИИГ-ГиМС). Измерения и запись результатов проводились программой "Tcikl-5" (разработчик СНИИГ-ГиМС). В результате проведённых наблюдений были построены геоэлектрические разрезы удельного сопротивления изучаемого участка (рисунок 8). Качественная интерпретация полученного материала позволяет выделить в разрезе как зоны поствзрывных нарушений, так и геологические и тектонические границы, имеющие различные направления падения. Выделяемые границы гранитоидной интрузии преимущественно субвертикальны. Тектонические нарушения имеют наклон 60° и 120° к оси скважины. Мощность интрузии оценивается приблизительно в 700 метров в оба направления. Для разреза вдоль профиля «юг-север» строение зоны поствзрывных разрушений имеет субвертикальный характер залегания с горизонтальными размерами до 300 метров. Вертикальные размеры данной зоны, обусловленные, по всей вероятности, размерами столба обрушения, находятся в интервале глубин от -600 до -50 метров. Для разреза вдоль профиля «запад-восток» строение зоны поствзрывных разрушений имеет вытянутый по латерали характер залегания с горизонтальными размерами до 1200 метров. На востоке от устья скважины 1220 располагается крупный тектонический разлом, выявленный также с помощью метода дифрагированно-рассеянных волн.



Рисунок 8. Геоэлектрические разрезы удельного расчетного сопротивления в районе скважины 1220 (уч. Балапан, СИП)

# Ртутометрия

Проведены площадные наблюдения в районе скважины 1220. Размер площади наблюдений составил 400х400 м<sup>2</sup> с шагом пробоотбора 40 метров по равномерной сети.



 средних значений, соответствующих геохимическому фону; 2
 аномально повышенных значений; 3 – аномально пониженных значений; 4 – местоположение боевой скважины 1220

Рисунок 9. Результаты газортутной съемки в районе скважины 1220 Результаты газортутной съемки выявили две положительные аномалии (с концентрацией ртути выше  $100 \times 10^{-9}$  мг/л), расположенные южнее устья боевой скважины на расстоянии 30-50 метров (рисунок 9). Общий геохимический фон участка в районе скважины 1220 составил  $60 \times 10^{-9}$  мг/л. Выявлены также несколько точек с пониженными содержаниями паров ртути (менее  $20 \times 10^{-9}$  мг/л).

# Площадка Дегелен

Исследования с использованием комплекса геофизических методов выполнялись в районе штольни 205. Подземный взрыв выполнен в горизонтальной штольне длиной 585 метров на глубине ~200 метров от дневной поверхности. Мощность заряда - от 0.001 до 20 кТ. Вмещающие породы – базальтовые порфириты. Исходя из методико-геологических соображений, обусловленных условиями проведения ПЯВ, был составлен список геофизических технологий для данного участка, который включил в себя МОВЗ, электрометрию, магнитометрию и активный сейсмический метод рефрагированных волн в модификации непродольного просвечивания. Метод дифрагированно-рассеянных волн трудно-применим в данных условиях из-за небольшой глубины объекта исследований - в таких условиях возникают существенные сложности при определении на сейсмограмме фаз дифрагированных волн. Из-за скальной структуры холма, в котором был выполнен ПЯВ, и практически полного отсутствия почвогрунтов на его поверхности (что серьёзно усложняет пробоотбор) провести ртутометрию на этом участке также не представлялось возможным.

# Метод обменных волн землетрясений

Полевые наблюдения выполнены по ранее адаптированной к задачам ИНМ методике – установлена радиально-лучевая система наблюдений, координаты пунктов регистрации определены непосредственно на месте с использованием прибора GPS "Etrex Garmina". Измерения проведены с использованием восьми сейсмических цифровых станций DAS PMD-6102, 8 комплектов предварительных усилителей, 40 трёхкомпонентных сейсмических датчиков CK-1П. После 12 суток непрерывных наблюдений получен цифровой массив сейсмических данных общим объёмом 192 Гб. Выполнена обработка полевых данных по описанной в предыдущих подразделах отчёта методике. На непрерывной сейсмической записи выделено 109 событий. Для всех выделенных событий построены поверхностные годографы. С учётом информации об азимутах подхода сейсмических волн и углах выхода лучей рассчитаны параметры залегания точек обмена. Для блока горных пород района штольни 205, нарушенного подземным ядерным взрывом, построена объёмная модель поверхности первого обмена (рисунок 10).



Рисунок 10. Площадка Дегелен. Район штольни 205. Объёмная модель поверхности первого обмена по результатам наблюдений

На представленном рисунке на вертикальной шкале для дневной поверхности приведены значения абсолютной высоты в метрах, для границы первого обмена - - начения глубины относительно дневной поверхности. Из-за небольшой глубины проведения подземного ядерного взрыва в штольне 205 (приблизительно 200 метров от дневной поверхности) не произошло образования куполообразной границы первого обмена над очагом взрыва. В данной ситуации блок земной коры, подверженный воздействию ПЯВ, разрушен полностью, о чём также свидетельствует большое количество трещин и разрывных нарушений на дневной поверхности. На объёмной модели поверхности первого обмена явно прослеживается блочная структура залегания горных пород, нарушенных ПЯВ, с субвертикальными крутопадающими границами. По данным МОВЗ зона активных поствзрывных разрушений вмещающей

среды прослеживается до глубины 400 метров от дневной поверхности.

## Сейсмическая томография в модификации непродольного профилирования [10]

В ходе проведения работ опробована ускоренная технология полевых наблюдений без предварительной разбивки топографической сети. Пункты возбуждения и регистрации сейсмических сигналов определялись непосредственно на участке исследований, их координаты (включая высотные отметки) были установлены в ходе работ. В соответствии с топографией участка исследований было выставлено 43 вертикальных сейсмических датчика DF-8 с шагом приблизительно 20 м. С обратной (относительно пунктов наблюдения) стороны холма, в котором был произведён ПЯВ, отработан «взрывной» профиль из 12-ти пунктов возбуждения (рисунок 11а).

Регистрация сейсмических сигналов выполнялась с использованием двух 24-канальных станций ИСН-01-24. Все полевые работы, включая расстановку системы наблюдений, определение координат пунктов возбуждения и приёма упругих колебаний, производство сейсмических ударов и их регистрация, снятие системы наблюдений, были выполнены приблизительно за 7 рабочих часов. В результате для каждого пункта возбуждения упругих волн записан файл с волновым полем в формате SEG-Y. С использованием программы Picker 1.1 определены времена первых вступлений продольной волны и построена система годографов для всех пунктов взрыва. С помощью программного пакета Firstomo был построен срез в линиях равных скоростей, проходящий по плоскости «источники-приёмники» (рисунок 11б).

На представленном рисунке 11а жёлтой пунктирной линией обозначена смещённая к пунктам наблюдения область аномально пониженных значений скорости продольных волн, приуроченная к зоне активных разрушений. Смещение данной области от её реального местоположения, совпадающего с очагом взрыва (красным кружком), объясняется недостаточной системой наблюдения - -3-за сложных топографических условий пункты наблюдения располагались

2

1 - – ункты возбуждения сейсмических волн;

2 - –ункты регистрации
 а – конфигурация системы наблюдений

700

только с одной стороны от исследуемой зоны. В будущем при проведении аналогичных исследований при непродольном профилировании рекомендуется отрабатывать «контрольный» пункт взрыва в чистой зоне (между предполагаемой зоной разрушений и пунктами наблюдения) и, если позволит топография местности, применять встречные либо ортогональные системы наблюдений. Тем не менее. полученных результатов достаточно для практического решения задач ИНМ. По полученному срезу можно судить, во-первых, о наличии в исследуемом горном массиве поствзрывной зоны активного дробления горных пород. При отсутствии на дневной поверхности следов проведения ПЯВ данная информация чрезвычайно важна при проведении ИНМ. Во-вторых, можно оценить относительно точные размеры зоны разрушений. Также, в ходе проведения ИНМ, находясь непосредственно на участке исследований и обладая информацией о топографии участка, можно рассчитать местоположение данной зоны разрушений. Учитывая скорость выполнения полевых наблюдений, анализа данных и получения окончательного результата, данная технология может быть рекомендована (с некоторыми доработками) к использованию при проведении ИНМ.



-ункты возбуждения сейсмических волн; 2 - ункты регистрации; 3 - она поствзрывных разрушений, видимая на дневной поверхности (трещины, отвалы горных пород); 4 - – редполагаемые размеры и местоположение зоны активных разрушений на глубине исследований; 5 - –раница области аномально пониженных значений скорости продольных волн.
 б – сейсмический срез в линиях равных скоростей продольных волн



#### Электрометрия (ЗСБ)

Наблюдения выполнены по двум ортогональным профилям длиной по 900 м с шагом 20 м. Размер измерительной установки (петля) 50 х 50 м. Шаг перемещения петли по профилю 100 м со сгущением до 50 м (пикеты 300 – 700). Количество физических точек наблюдения на двух профилях 25. По результатам наблюдений построен геоэлектрический разрез по значениям продольной проводимости горных пород, подверженных воздействию ПЯВ в штольне 205 (рисунок 12).

На геоэлектрическом разрезе красной пунктирной линией выделена область пониженных значений продольной проводимости, приуроченная к зоне активных поствзрывных разрушений горных пород. Данная область располагается на глубине от 200 до 300 метров от дневной поверхности и имеет горизонтальные размеры приблизительно 200 - -50 метров, что согласуется с результатами пассивных и активных сейсмических наблюдений в районе штольни 205 (рисунки 11, 12).

#### Картирование магнитного поля

Сеть наблюдений на площади 0,8 х 0,8 км<sup>2</sup> составила 40х20 метров, количество физических точек - – 01. Профили ориентированы с Юга на Север, нумерация профилей с Запада на Восток. Наблюдения проводились протонными магнитометрами ММ-61, имеющими встроенную память и выход для сброса накопленной информации на ЭВМ. Результаты проведенных исследований представлены в виде карты изодинам модуля вектора магнитной индукции Земли  $\Delta T$  (рисунок 13).



Рисунок 12. Участок Дегелен. Геоэлектрический разрез через штольню 205 (продольная электрическая проводимость)



1 - -онтуры воронки на дневной поверхности над гипоцентром взрыва; 2 - -роекция штрека штольни 205 на дневную поверхность; 3 - - ектонические нарушения

Рисунок 13. Карта изодинам модуля вектора магнитной индукции Земли над штольней 205

В пределах площади исследований наблюдается сильно неоднородное поле, которое на местности представлено разрушенными горными породами и наличием на вершине горы провальной воронки диаметром порядка 90 метров. Изрезанный характер поля наблюдается в радиусе 200 метров от эпицентра, в пределах этого расстояния на местности наблюдаются изменения в рельефе, выраженные высыпаниями горных пород, и образование сдвиговых деформаций в местах прилегающих к эпицентру взрыва. В основном эти изменения, произошедшие после взрыва в горных породах, и характеризуют неровный, сильно градиентный характер наблюденного поля. Высокие значения поля порядка 60 000 нТл не характерны для этой широты и возникают из-за участия в геологическом строении участка андезитов, относящихся к среднему составу и имеющих в своем строении темноцветные минералы, которые и обуславливают большой вектор намагничения относительно вмещающих пород, представленных интрузивными образованиями кислого состава.

# Заключение

На основании результатов геолого-геофизических наблюдений, проведённых на трёх участках ПЯВ с разными техническими и геологическими условиями, можно сделать вывод о том, что параметры подземных взрывов существенным образом определяют применимость различных технологий. Составлена сравнительная таблица возможностей геолого-геофизических технологий в зависимости от условий ПЯВ (таблица 1). Результаты данной работы могут быть использованы в Дивизионе ИНМ ОДВЗЯИ в рамках дальнейшего развития инспекционных технологий, при разработке Оперативных руководств, проведении очередных учений и т.д.

Таблица 1. Сравнение применимости инспекционных технологий в зависимости от условий ПЯВ

Условия	Вертикальн	Горизонтальная штольня 205,			
Методы	Скважина 1220, граниты	Скважина 1388, песчаники	базальтовые порфириты		
MOB3	+	+	+		
МДРВ	+	+	-		
MPB	-	-	+		
Электрометрия	+	+	+		
Магнитометрия	+	-	±		
Ртутометрия	+	-	-		
Применимость технологий в описываемых условиях: "+" – применима; "-" – неприменима; "±" – возможно применима.					

#### Литература

- 1. Разработка геолого-геофизических методов "Инспекции на месте" в рамках ДВЗЯИ на примере СИП: отчёт о НИР (итоговый) / НЯЦ РК; рук. А. В. Беляшов. –урчатов, 2009. –12 с. ЦНТИ. Инв. № 0205РК00653.
- Пузырев, Н. Н. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн / Н. Н. Пузырев, А. В. Тригубова, Л. Ю. Бородов. М.: Недра, 1985. 277 с.
- Певзнер, Л. А. Методика комплексных исследований на продольных, поперечных и обменных волнах при изучении земной коры в Казахстане / Л. А. Певзнер, В. И. Шацилов, М. С. Эренбург // Многоволновые сейсмические исследования. – Новосибирск, Наука, 1987. – С. 137-141.
- 4. Шапиро, С. А. О затухании сейсмических волн в горных породах как в дискретных рассеивающих средах / С. А. Шапиро, И. С. Файзуллин // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1986. № 9. С. 56-63.
- 5. Файзуллин, И. С. Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород / И. С. Файзуллин, И. А. Чиркин // Журн. Геоинформатика. 1998. № 3. С. 69-75.
- Старобинец, А.Е. Выделение и интерпретация дифрагированных и квазидифрагированных волн / А. Е. Старобинец. М.: Недра, 1988. – 214 с.
- Инструкция по электроразведке: Наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно рудничная электроразведка, аэроэлектроразведка, морская электроразведка. - --во геологии СССР. - -.: Недра, 1984. – 352 с.
- 8. Инструкция по магниторазведке. --во геологии СССР. Л. Недра, 1983. -63 с.
- Певзнер, Л. А. Методические рекомендации по сейсмическому просвечиванию методом рефрагированных волн / Л. А. Певзнер, В. Л. Покидов, В. А. Циммер. – Алма-Ата, Наука, 1982. – 156 с.
- 10. Певзнер, Л. А. Сейсмическое просвечивание сложных сред / Л. А. Певзнер, В. Л. Покидов, В. А. Циммер. –лма-Ата, Наука, 1984. 123 с.

# СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫ ЖАҒДАЙЛАРЫНА ИНСПЕКЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ МҮМКІНШІЛІКТЕРІН САЛЫСТЫРУ

<sup>1)</sup>Беляшов А., <sup>2)</sup>Мукушева М., <sup>1)</sup>Шайторов В., <sup>1)</sup>Ефремов М., <sup>1)</sup>Дроздов А.

<sup>1)</sup>КР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер нституты, Курчатов, Қазақстан <sup>2)</sup>Қазақстан Республикасының Ұлттық Ядролық Орталығы, Алматы

Жерасты ядролық жарылыстың (ЖЯЖ) феноменологиясын зерделеу және Орнындағы инспекцияның технологияларын дамыту үшін ССП екі алаңдарында – Балапан және Дегелен – геология-геофизикалық байқаулардың нәтижелері сипатталған. Сейсмикалық активті және пассивті әдістері, электрметрия, магнитметрия және сынапметрия қолданылған. Зерттеулер нәтижесінде, ЖЯЖ жүргізуінің техникалық және

геологиялық жағдайлары инспекциялық міндеттерін шешу үшін геология-геофизикалық әдістемелерін таңдауына едәуір ықпал жасайтыны дәлелденген.

# COMPARISON OF INSPECTION TECHNOLOGIES CAPABILITIES FOR SEMIPALATINSK TEST SITE APPLICATION

<sup>1)</sup>A.V. Belyashov, <sup>2)</sup>Mukusheva M.K., <sup>1)</sup>V.N. Shaitorov, <sup>1)</sup>M.V. Yefremov, <sup>1)</sup>A.V. Drozdov

<sup>1)</sup>Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan <sup>2)</sup>National Nuclear Centre of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov

Results of geology-geophysical observations at two sites (Balapan and Degelen) of STS to investigate phenomenology of underground nuclear explosions and development of On-Site Inspection technologies were described. Passive and active seismic methods, electrometry, magnetometry and mercury measurements were applied. The results of such research proved that technical and geological conditions of UNE significantly influence upon the selection of geology-geophysical methods in terms of solution of inspection tasks.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПАКЕТА КРУГЛЫХ ПЛАСТИН

#### Берикханова Г.Е.

#### Семипалатинский государственный педагогический институт, Семей

В работе предложена математическая модель о вынужденных колебаниях пакета плоских круглых пластин с точечным упругими связями. Показана непротиворечивость предлагаемой математической модели и расчеты о вынужденных колебаниях пакета круглых пластин с учетом точечных связей.

Рассмотрим пакет однородных упругих изотропных пластин постоянной толщины h, ограниченной круглым контуром

$$\Omega = x, y : x^2 + y^2 < 1$$

Пусть на пластинах находятся Q точечно присоединенных масс  $M_q$  q = 1, 2, 3, ..., Q и она упруго и жестко оперта в L и соответственно S внутренних точках. Шарнирное опирание в точке может сочетаться с защемлением по любому направлению. Расположение опор и точечных масс в плоскостях произвольно. Граничное условие на контуре пакета пластин может быть одним из следующих: шарнирное  $\Phi$ Гопирание, защемление или свободный край. Требуется определить собственные частоты и формы поперечных колебаний пакета круглых пластин.

Подобная задача о собственных колебаниях прямоугольной пластины изучалась в монографии [1], где предлагалась вариационная постановка и учитывалась упругие точечные опоры и сосредоточенные массы.

Рассмотрим функционал Остроградского-Гамильтона [2]

 $L = \int_{t_{ij}}^{t_b} T - G dt$ 

на совокупности главных колебаний. Они должны удовлетворять условиям шарнирного закрепления жестких опор пластины в *S* точках

$$W_i \ x_i^s, y_i^s, t = 0 \ s = 1, ..., S , \ i = 1, ..., n$$
 (1)

где x<sup>s</sup>, y<sup>s</sup> - координаты *s* -й внутренней опоры.

**Теорема.** Колебание однородной изотропной пакета плоских пластин постоянной толщины h, ограниченный круглым контуром  $\Omega_i = x_i, y_i : x_i^2 + y_i^2 < 1$ , к которой точечно присоединены массы  $M_q$  в Q внутренних точках и в  $x_i^0, y_i^0$  внутренней точке она упруго оперта, а также в внутренних точках  $x_i^s, y_i^s$  жестко оперта или упруго защемлена, описывается дифференциальным уравнением

$$\Delta^{2}W_{i} = P_{i} \ x, y \ , \ x, y \in \Omega_{i} - x_{i}^{0}, y_{i}^{0}$$
(2)

которое выполняется во всех точках пластины где нет точечных связей, а в точечных связях справедливы многоточечные краевые условия

$$M_{q} \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial t^{2}} \Big|_{x_{i}^{q}, y_{i}^{q}} - 2D_{i} - V_{i} \left( \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{q} - 0, y_{i}^{q} - 0} - \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{q} - 0, y_{i}^{q} + 0} - \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{q} + 0, y_{i}^{q} - 0} + \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{q} + 0, y_{i}^{q} - 0} \right) = 0$$

$$(3)$$

$$C_{i}^{0} W_{i} - x_{i}^{0}, y_{i}^{0}, t - 2D_{i} - V_{i} \left( \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{q} - 0, y_{i}^{q} - 0} - \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{q} - 0, y_{i}^{q} - 0} + \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{q} - 0, y_{i}^{q} - 0} \right) = 0$$

$$(4)$$

$$W_{i} x_{i}^{0}, y_{i}^{0}, t - 2D_{i} 1 - \nu_{i} \left( \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{0} - 0, y_{i}^{0} - 0} - \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{0} - 0, y_{i}^{0} + 0} - \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{0} + 0, y_{i}^{0} - 0} + \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{0} + 0, y_{i}^{0} - 0} + \frac{\partial^{2} W_{i}}{\partial x \partial y} \Big|_{x_{i}^{0} + 0, y_{i}^{0} + 0} \right) = 0$$
(4)

где  $P_i x, y$  -внешнее воздействие,  $C_i^0$  - жесткость точечной упругой опоры.

Для единственности решения к указанным многоточечным условиям надо добавить граничные условия

$$W_i\Big|_{\Omega_i} = 0, \qquad \frac{\partial W_i}{\partial n}\Big|_{\partial\Omega_i} = 0 \qquad i = 1, 2, ..., n$$
 (5)

При этом считаем, что  $W_i$  x, y,  $\frac{\partial W_i}{\partial x}$  и

 $\frac{\partial W_i}{\partial y}$  непрерывны в точке  $x_i^0, y_i^0$ . В работе

[3] в явном виде выписана функция Грина задачи Дирихле в круге

$$\Delta^2 U_i = P_i \quad x, y \quad ,$$
  

$$x, y \in \Omega_i = \quad x, y \quad : x^2 + y^2 < 1$$
(6)

$$U_{i}\Big|_{\partial\Omega_{i}} = 0, \qquad \frac{\partial U_{i}}{\partial n}\Big|_{\partial\Omega_{i}} = 0$$
  
(7)  
$$x, y \in \partial\Omega_{i} = x, y : x^{2} + y^{2} = 1$$

Выпишем её в удобном для применения виде

$$G_{i} \quad x, y, \xi, \mu = d \left[ x - \xi^{2} + y - \mu^{2} \right] \ln \left[ x - \xi^{2} + y - \mu^{2} \right] - d\xi^{2} + \mu^{2} \left[ \left( x - \frac{\xi}{\xi^{2} + \mu^{2}} \right)^{2} + \left( y - \frac{\mu}{\xi^{2} + \mu^{2}} \right)^{2} \right] \ln \left[ \xi^{2} + \mu^{2} \left( x - \frac{\xi}{\xi^{2} + \mu^{2}} \right)^{2} + \left( y - \frac{\mu}{\xi^{2} + \mu^{2}} \right)^{2} \right] + d \left( 1 + \ln \left[ \xi^{2} + \mu^{2} \left( x - \frac{\xi}{\xi^{2} + \mu^{2}} \right)^{2} + \left( y - \frac{\mu}{\xi^{2} + \mu^{2}} \right)^{2} \right] \right) \left[ 1 - \xi^{2} - \mu^{2} \left( -x^{2} - y^{2} \right)^{2} \right] \right)$$
(8)

где *d* -некоторое нормировочное число, явный вид которого здесь не столь существенен. Непосредственно проверяется, что функция  $U_i x, y = \int_{\Omega_i} G_i x, y, \xi, \mu P_i \xi, \mu d\xi d\mu$  является ре-

шением задачи (6) – (7) для любых допустимых  $P_i x, y$ .

Решение задачи (6), (7) –(8) ищем в виде [4]

$$W_{i} \quad x, y = \left\{ U_{i} \quad x, y - \int_{\partial \Omega_{i}} \left[ \left( G_{i} \quad x, y, \xi, \mu \right. \frac{\partial \Delta_{\xi, \mu} h_{i} \quad \xi, \mu}{\partial n_{\xi, \mu}} - \Delta_{\xi, \mu} h_{i} \quad \xi, \mu \right. \frac{\partial G_{i} \quad x, y, \xi, \mu}{\partial n_{\xi, \mu}} \right] + \left( \Delta_{\xi, \mu} G_{i} \quad x, y, \xi, \mu \right. \frac{\partial h_{i} \quad \xi, \mu}{\partial n_{\xi, \mu}} - h_{i} \quad \xi, \mu \left. \frac{\partial \Delta_{\xi, \mu} G_{i} \quad x, y, \xi, \mu}{\partial n_{\xi, \mu}} \right] \right] dS_{i} + \alpha_{i} G_{i} \quad x, y, x_{i}^{0}, y_{i}^{0} + \left( \beta_{i} \frac{\partial G_{i} \quad x, y, x_{i}^{0}, y_{i}^{0}}{\partial \xi} + \gamma_{i} \frac{\partial G_{i} \quad \xi, y, x_{i}^{0}, y_{i}^{0}}{\partial \mu} + \theta_{i} \frac{\partial^{2} G_{i} \quad \xi, y, x_{i}^{0}, y_{i}^{0}}{\partial \xi \partial \mu} \right\}$$

$$(9)$$

где  $h_i \xi, \mu$  - произвольная достаточно гладкая функция,  $\Delta_{\xi,\mu}$  - оператор Лапласа по переменным  $\xi, \mu$ ,  $n_{\xi,\mu}$  - внешняя нормаль к  $\partial\Omega$  в точке  $\xi, \mu$ ,  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \theta_i$  - некоторые числа.

Поскольку функция  $G_i$   $x, y, \xi, \mu$  выписана в явном виде (8), то значения  $\frac{\partial G_i}{\partial n_{\xi,\mu}}$ ,  $\Delta_{\xi,\mu}G_i$ ,  $\frac{\partial}{\partial n_{\xi,\mu}}\Delta_{\xi,\mu}G_i$  считаем известными. Задача состоит в выборе функции  $h_i \xi, \mu$  и чисел  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \theta_i$  из условия, чтобы выполнялись соотношения (6), (7) –(8).

Известно, что при любом гладком  $h_i \xi, \mu$  выражение

$$\begin{split} & V_i \;\; x, y \; = \\ & = \int\limits_{\partial \Omega_i} \! \left[ \begin{pmatrix} G_i \;\; x, y, \xi, \mu \;\; \frac{\partial \Delta_{\xi, \mu} h_i \;\; \xi, \mu}{\partial n_{\xi, \mu}} \\ -\Delta_{\xi, \mu} h_i \;\; \xi, \mu \;\; \frac{\partial G_i \;\; x, y, \xi, \mu}{\partial n_{\xi, \mu}} \end{pmatrix} \! + \\ & + \! \left( \! \begin{array}{c} \Delta_{\xi, \mu} G_i \;\; x, y, \xi, \mu \;\; \frac{\partial h_i \;\; \xi, \mu}{\partial n_{\xi, \mu}} \\ -h_i \;\; \xi, \mu \;\; \frac{\partial \Delta_{\xi, \mu} G_i \;\; x, y, \xi, \mu}{\partial n_{\xi, \mu}} \end{array} \right] \! dS_i \end{split}$$

является решением однородного уравнения

$$\Delta^2 V_i = 0, \quad x, y \in \Omega_i$$

Поэтому очевидно, что  $W_i$  *x*, *y* является решением неоднородного уравнения (6). Остается выбрать функцию  $h_i \xi, \mu$  и числа  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \theta_i$  так, чтобы правая часть (9) удовлетворяла краевым условиям (7) –(8).

Непосредственной проверкой убеждаемся [5] в справедливости равенств

$$\begin{aligned} G_i \ x, y, \xi, \mu \Big|_{x, y \in \partial \Omega_i} &= 0, \\ \Delta_{\xi, \mu} G_i \ x, y, \xi, \mu \Big|_{x, y \in \partial \Omega_i} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial n_{\xi, \mu}} G_i \ x, y, \xi, \mu \Big|_{x, y \in \partial \Omega_i} &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial n_{\xi, \mu}} \Delta_{\xi, \mu} G_i \ x, y, \xi, \mu \Big|_{x, y \in \partial \Omega_i} &= -\delta \ x - \xi, y - \mu \end{aligned}$$

при любых  $\xi, \mu \in \partial \Omega_i$ 

Отсюда сразу же следует

$$V_i \quad x, y \mid_{x, y \in \partial \Omega_i} = -h_i \quad x, y \mid_{x, y \in \partial \Omega_i}$$
(10)

Точно также из равенств

$$\frac{\partial}{\partial n_{x,y}} G_i \left| x, y, \xi, \mu \right|_{x,y \in \partial \Omega_i} = 0,$$
$$\frac{\partial^2}{\partial n_{x,y} \partial n_{\xi,\mu}} G_i \left| x, y, \xi, \mu \right|_{x,y \in \partial \Omega_i} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial n_{x,y}} \Delta_{\xi,\mu} G_i \quad x, y, \xi, \mu \bigg|_{x,y \in \partial \Omega_i} = \delta \left| x - \xi, y - \mu \right|,$$
$$\frac{\partial^2}{\partial n_{x,y} \partial n_{\xi,\mu}} \Delta_{\xi,\mu} G_i \left| x, y, \xi, \mu \right|_{x,y \in \partial \Omega_i} = 0$$

Из  $\xi, \mu \in \partial \Omega_i$  следует граничное соотношение

$$\frac{\partial}{\partial n_{x,y}} V_i \, x, y \, \bigg|_{x,y \in \partial \Omega_i} = \frac{\partial}{\partial n_{x,y}} h_i \, x, y \, \bigg|_{x,y \in \partial \Omega_i}$$
(11)

Из равенств (10) и (11) вытекает, что

$$h_i \quad x, y \mid_{x, y \in \partial \Omega_i} = 0 \quad \mathbf{h} \left. \frac{\partial}{\partial n_{x, y}} h_i \quad x, y \right|_{x, y \in \partial \Omega_i} = 0.$$

Поскольку  $G_i x, y, t, \tau$  по переменным  $t, \tau$ удовлетворяет условиям (7), то  $V_i x, y = 0$  для всех  $x, y \in \Omega_i \setminus x_i^0, y_i^0$ .

Надо выбрать постоянные  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \theta_i$  так, чтобы удовлетворялось точечное условие (8) и непрерывность в  $W_i x, y$ ,  $\frac{\partial W_i x, y}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial W_i x, y}{\partial y}$  в точке  $x_i^0, y_i^0$ . Это всегда возможно. Таким

образом, задача (6), (7) –(8) имеет решение, причем предложен конкретный алгоритм его построения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Базаров, М.Б. Численное моделирование колебаний диссипативно однородных и неоднородных механических систем / М.Б. Базаров, И.И. Сафаров, Ю.И. Шокин. – Новосибирск. : Изд. СО РАН, 1996. – 189 с.
- 2. Треффи, Е. Математическая теория упругости / Е. Треффи. Ленинград осква. : Гос тех. Издат, 1934. 172 с.
- 3. Кальменов, Т.Ш. Представление функции Грина задачи Дирихле для полигармонических уравнений в шаре / Т.Ш.
- Кальменов, Б.Д. Кошанов, М.Ю. Немченко // Докл РАН. 2008. Т. 421, №3. С.305-307.
- 4. Павлов, Б.С. Теория расширений и потенциалы нулевого радиуса с внутренней структурой / Б.С. Павлов, А.А. Шушков // Математический сборник. 1988. Т. 137 (179), №2. С.147-183.
- 5. Кангужин, Б.Е. Представление и свойства функции Грина задачи Дирихле для полигармонических уравнений / Б.Е. Кангужин, Б.Д. Кошанов // Математический журнал. 2008. Т.8, № 1(27). С.50-58.

#### ДӨҢГЕЛЕК ПЛАСТИНАЛАР ПАКЕТІНІҢ КӨЛДЕНЕҢ ТЕРБЕЛІСТЕРІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

#### Берікханова Г.Е.

#### Семей мемлекеттік педагогикалық институты, Семей, Қазақстан

Бұл жұмыста нүктелік серпінді байланыстағы жазық дөңгелек пластиналар пакетінің еріксіз тербелісінің математикалық моделі ұсынылады. Осы математикалық модельдің қарама-қайшылықсыздығы және нүктелік байланыстағы жазық дөңгелек пластиналар пакетінің еріксіз тербелісінің есептеуі көрсетілген.

#### MATHEMATICAL MODEL OF TRANSVERSE FLUCTUATIONS PACKAGE CIRCULAR PLATES

## G.E. Berikkhanova

#### Semipalatinsk State Pedagogical Institute, Semey, Kazakhstan

In work proposed a mathematical model of forced fluctuations of a package of flat circular plates with point elastic connections. It is shown that the consistency of the proposed mathematical model and calculation of forced fluctuations of a package of round plates with point connections.

УДК 538.9, 539.21:537.1

### ХАОС И ПОРЯДОК В ЭЛЕКТРОННЫХ СПЕКТРАХ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ СИСТЕМ НА ПЕРЕХОДЕ МЕТАЛЛ-ИЗОЛЯТОР

#### Жарекешев И.Х.

Институт теоретической физики, Университет Гамбург, Германия Казахский Национальный унивеситет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Рассматриваются хаотические флуктуации одноэлектронных уровней энергии в конечной закрытой системе со статисческим беспорядком. Изучается дисперсия числа уровней в интервале энергии заданной ширины при изменении случайного примесного потенциала. Используя теорию подобия развита картина влияния перехода металл-изолятор на дисперсию числа уровней. Предложенная теория сравнивается с результатами численного моделирования для простой кубической решетки с периодическими граничными условиями.

#### 1. Введение

Как правило, физика твердого тела и статистическая физика имеет дело с макроскопическим объектом, состоящим из большого числа частиц, атомов или молекул. Объемные свойства такой системы обычно изучаются в термодинамическом пределе, т.е. при усреднении по большому ансамблю микроскопических конфигураций [13]. Квантовомеханические характеристики отдельных частиц макроскопической системы важны только на некотором малом масштабе расстояний, в пределах которого электронные состояния коррелируют между собой вследствие интерференции. При достаточно высоких температурах этот эффективный корреляционный масштаб длины составляет несколько периодов кристаллической решетки, то есть порядка микроскопического масштаба. При этом на размерах всей макросистемы электронные состояния составных частей почти независимы друг от друга. Однако при очень низких температурах корреляционная длина может быть в 100-10000 раз больше, чем характерный масштаб длин. Если в такой ситуации размеры исследуемого образца не превышает корреляционной длины, то интерференционные члены не усредняются до нуля, что отражается на кинетических характеристиках образца. Неупорядоченные системы, обладающими такими свойствами принято называть «мезоскопическими», т.е. соответствующими промежуточной области между микро- и макросистемами. Впервые понятие «мезоскопических» систем было введено Стоуном [14].

Квантово-интерференционные явления в мезоскопических системах приводят к специфическим флуктуациям остаточной проводимости при изменении магнитного поля. Рассмотрим условия, при которых они возникают. Считается, что в неупорядоченных системах движение электрона является диффузным. Это означает, что длина свободного пробега l (обычно l около 100 Å) много меньше, чем размер образца L, или, более точно, чем расстояние между контактами, которыми измеряется сопротивление. В свою очередь, длина свободного пробега, например, для металла, много больше, чем длина волны электрона  $\lambda$ , соответствующая энергии на поверхности Ферми ( $\lambda$ ~1 Å). Тогда движение носителей заряда через образец можно представить в виде распространения почти плоских волн, которые упруго рассеиваются на примесных центрах, расположенных в хаотических местах решетки. Другими словами, перемещение электронов становится подобным хаотическому «блужданию» среди примесей [1].

После каждого акта рассеяния с примесным центром фаза волновой функции электрона смещается на некоторую определенную величину, так что память о фазе сохраняется. Это означает, что упругие столкновения с примесями не разрушают когерентность в движении электронов [2]. Все электроны, попавшие в одно и то же состояние, набирают одинаковые смещения фаз, и акты рассеяния, обратные по отношению к обращению времени, восстанавливают первоначальную фазу волновой функции электрона.

Однако при ненулевых температурах неизбежны неупругие соударения. Различные неупругие процессы приводят к потере фазовой памяти. Другими словами, происходит «сбитие» или перешивание фаз. Механизмы неупругих актов рассеяния, в основном, столкновениями определяются электронов с фононами и магнитными примесями. При понижении температуры неупругие столкновения становятся все более редкими за счет увеличения времени неупругого рассеяния  $\tau_{a}$ .

$$\tau_{\phi} = \frac{L_{\phi}^2}{D},\tag{1}$$

где  $L_{\varphi}$  - длина диффузии между неупругими столкновениями; D – коэффициент диффузии.

Практически  $L_{\varphi}$  эффективно равна длине фазовой когерентности. Она определяет масштаб расстояний, в пределах которого сохраняется когерентность носителей заряда, что соответствует мезоскопическому режиму. В типичных металлах длина фазовой когерентности  $L_{\varphi}$  может быть несколько микрон при температуре ниже 1<sup>0</sup>К [3].

Таким образом, для экспериментального наблюдения мезоскопических флуктуаций проводимости, например, в металлах, требуются образцы субмикронных размеров. Принято следующее условное деление исследуемых объектов на классы. Микроскопические системы соответствуют размерам меньше 100 Å. Мезоскопика лежит в диапазоне  $10^2 - 10^5$  Å. Образцы размерами больше 10 микрон относят к макрообъектам, а меньше 100 Å – к нанообъектам.

Современные методы получения сверхмалых структур, использующие оптическую и рентгеновскую литографию, в сочетании с развивающейся технологией сфокусированных ионных пучков (СИП) позволяют снизить реальные размеры приборов до субмикронных, вплоть до нанометров [6-7]. Прогресс в области полупроводниковой технологии способствует появлению физических идей, служащих основой для создания принципиально новых типов полупроводниковых приборов. Физика мезоскопических систем родилась на богатом экспериментальном материале, обзору которого посвящен следующий раздел.

# 2. МЕЗОСКОПИЧЕСКИЕ ФЛУКТУАЦИИ ПРОВОДИМОСТИ

Яркой демонстрацией квантово-интерференционных свойств электронов при низких температурах является эффект Ааронова-Бома. Этот эффект представляет собой периодические осцилляции сопротивления образца при приложении к нему магнитного поля. При этом периоды осцилляций соответствуют нормальному кванту магнитного потока  $\Phi_o = \hbar c/e = 4.14 \cdot 10^{-7}$  Гс/см<sup>2</sup> и сверхпроводящему, т.е.  $2\Phi_o$  квантам магнитного потока [8]. Эффект Ааронова-Бома в мезоскопических структурах и другие связанные с ним явления исследовался в работах [9-10].

Эксперименты по квазиодномерным металлическим кольцам, ставившие целью обнаружение периодических осцилляций сопротивления с периодом  $\Phi_o$ , показали, что существует еще один квантово-механический вклад в проводимость колец [10]. Он проявлялся в виде апериодических шумоподобных флуктуаций магнитосопротивления, наложенных на регулярную компоненту с частотой  $\Phi_{o}$ . Первые экспериментальные наблюдения этих флуктуаций были выполнены на кольцах из золота и сплава Au<sub>60</sub> Pd<sub>40</sub> [11]. Измерения зависимости сопротивления колец от магнитного поля при различных температурах (ниже 1<sup>0</sup>К) обнаружили сложную структуру флуктуаций, амплитуда которых составляла приблизительно 0,1 % от полного сопротивления образца. Кроме того, хаотический характер осцилляций сохранялся до больших магнитных полей, около 8Т, в противоположность эффектам слабой локализации, которые разрушаются при меньших полях [5, 12].

При понижении температуры амплитуда хаотических флуктуаций сопротивления возрастала, однако по достижению некоторой критической температуры  $T_c \approx 0,1^0$ К ее величина не изменялась [11]. Интересная особенность флуктуаций магнитосопротивления заключалась в том, что они были воспроизводимы для каждого конкретного образца, являясь

как бы их индивидуальными «паспортами» [12]. Аналогичная картина наблюдалась и для проволок, сделанных из того же материала. Была также измерена амплитуда универсальных флуктуаций кодактанса G – обратного полного сопротивления образца  $G \equiv 1/R$  - ниже критической температуры  $T_c$ . Она оказалась равной величине фундаментального кондактанса [10, 11], т.е.

$$\delta G \cong \sqrt{\langle G^2 \rangle - \langle G \rangle^2} \approx \frac{e^2}{h}, \qquad (2)$$

где угловые скобки означают усреднение по реализациям случайного потенциала.

Первая попытка объяснения причины возникновения апериодических флуктуаций была предпринята Стоуном [2]. При помощи численного моделирования им было показано, что существует некоторый характерный масштаб магнитных полей, по которому флуктуации меняются значительно. Соответствующий ему масштаб изменения магнитного потока, проходящего через площадь металла, спроецированную нормально к полю, был равен около 2Ф<sub>о</sub>. Было предложено следующее объяснение для понимания причины флуктуаций кондактанса [13].

Так как электронные траектории в металле блужланиями. являются хаотическими то суперпозиция волновых функций, которая приводит к периодическим осцилляциям, является случайной функцией количества потока в металле. Складываясь хаотическим образом, амплитуды интенсивности различных электронных волн, пришедших из разных плеч кольца, дают некоторую величину сопротивления. Если магнитное поле, пронизывающее металл, меняется, то это приводит к хаотическому перестраиванию траекторий, сумма амплитуд которых случайно изменяет сопротивление образца. Однако, если изменение магнитного потока меньше Фо, корреляция между «старыми» и «новыми» траекториями сохраняется, что означает изменение сопротивления на величину, меньшую чем характерный размер флуктуаций. Результаты численного исследования [2] использующего модель, развитую для изучения эффектов слабой локализации, были очень близки к эксперименту.

Дальнейший прогресс в понимании мезоскопических флуктуаций принадлежит Имри и Стоуну [15]. Они предложили подход, который получил название эргодической гипотезы. Она основана на том, что усреднение флуктуаций кондактанса конкретного образца *G* по энергии или по магнитному полю эквивалентно усреднению по ансамблю реализаций примесного потенциала. Рассмотрим последнее обстоятельство более подробно.

Назовем графики зависимости G(H) кондактанса от магнитного поля H «картинкой». Транспорт заряда в системе осуществляется электронами, имеющими энергии Ферми  $E_F$ . Пусть электроны движутся с другой энергией  $E_F + E$ . «Картинка» при этом изменится. Если изменения энергии E много меньше некоторой критической энергии  $E_C$ , то «картинка» почти не поменяется. Начиная с энергии  $E_C$ , «картинки» меняются существенно, таким образом, что почти не коррелируют между собой. Это означает, что интерференционные пути значительно перестроились, в результате чего образовалась новая конфигурация примесей, т.е. другая независимая реализация.

При нулевой температуре, существует размытие, вокруг уровня Ферми порядка  $\kappa \cdot T$ . Кондактанс определяется суммой некоррелированных «картинок», число которых равно  $\kappa T/E_C$ . Тогда усреднение по энергии приводит к тому, что величина флуктуаций кондактанса системы степенным образом зависит от температуры, а именно  $T^{1/2}$ . Такое поведение кондактанса хорошо согласуется с экспериментом [10].

К определению корреляционной энергии  $E_c$  можно подойти с точки зрения аналогии с оптикой. Пусть два электрона движутся по одному и тому же пути длиной S через образец с разными энергиями. Тогда энергия корреляции  $E_c$  – это разность между энергиями этих электронов, которая приводит к изменению разности фаз на величину порядка единицы, т.е.

$$\frac{S}{\lambda(E-E_c)} - \frac{S}{\lambda(E)} \approx SE_c \frac{d\lambda^{-1}}{dE} \approx SE_c \frac{dk}{dE} \approx 1$$
(3)

где *k* – квазиимпульс электрона.

Если электрон движется баллистически, т.е. не встречает на своем пути рассеивателей, то длина S есть длина образца S = L и мы имеем

$$E_C \approx \frac{hv_F}{L},$$
 (3a)

где *v<sub>F</sub>*- фермиевская скорость электрона.

В случае диффузии, движение электрона можно представить в виде хаотического блуждания с коэффициентом диффузии *D*. Тогда время диффузии через образец размера *L* есть

$$\tau \sim L^2 / D. \tag{4}$$

Размер L связан с длиной пути S соотношением

$$L^2 = S \cdot l, \tag{5}$$

где *l* – длина свободного пробега электрона.

Тогда из соотношений (3) – (5) получим следующий корреляционный масштаб

$$S \approx v_F \frac{L^2}{D} \approx \frac{L^2}{e},$$
 (6)

$$E_C \approx \frac{hv_F}{S} \approx \frac{hD}{L^2}.$$
 (6a)

Величина  $\frac{hD}{L^2}$  хорошо известна как скейлинго-

вый параметр, введенный Таулессом [15]. Кондактанс системы связан с этой энергией соотношением

$$G \approx \frac{e^2}{h} \frac{E_c^T}{\Delta},\tag{7}$$

где  $\Delta$  – среднее расстояние между дискретными уровнями энергии. Таулессом было доказано, что G определяется чувствительностью уровней энергии системы по отношению к изменению фазы волнововй на границах функции образца. Естественно поэтому считать, что Ес устанавливает масштаб энергий для сохранения фазовой когерентности в металлическом образце, который находится в контакте с идеальными проводниками.

Таким образом, энергия коррелляции *E<sub>C</sub>* определяет диапазон температур, ниже которых наблюдаются мезоскопические флуктуации проводимости:

$$T_C \approx \frac{E_C}{K}, \quad KT_C \approx \frac{hD}{L_T^2},$$
 (8)

Выше этой температуры амплитуда флуктуации убывает. Из соотношений (6), (8) можно найти критический масштаб расстояний, который называют тепловой длиной диффузии  $L_T$ 

$$L_T \approx \sqrt{\frac{hD}{KT_C}}.$$
 (9)

Смысл тепловой длины диффузии заключается в том, что образцы размером  $L \ll L_T$  проявляют мезоскопические свойства при низких температурах.

Итак, для того, чтобы образец был мезоскопическим, необходимы следующие ограничения по его размерам:

$$\lambda \ll l \ll L \ll L_{\phi}, L_{T}. \tag{10}$$

Для золотого кольца в экспериментальных работах [8-11] критическая температура составляет около  $0,03^{0}$ К, но из-за слабого алгебраического усреднения, квантовая интерференция легко наблюдаема выше  $1^{0}$ К. В полупроводниках, где  $T_{C}$  может быть выше  $10^{0}$ К, интерференционные эффекты обнаружены в области жидко-азотных температур (~100<sup>0</sup>К).

Флуктуационный характер сопротивления наблюдался также для систем в режиме сильной локализации [16-18]. В этих работах изучалось поведение сопротивления одномерных каналов в MOSFETтранзисторах в зависимости от напряжения на затворе. Изменение напряжения на затворе соответствует изменению уровня Ферми, что приводит к смене примесных конфигураций. Из экспериментальных данных следует, что графики зависимости сопротивления от напряжения на затворе качественно эквивалентны флуктуационной зависимости от магнитного поля, что согласуется с гипотезой эргодичности. Амплитуда флуктуаций кондактанса оказалось еще больше, чем в металлах.

Сначала предпринимались попытки объяснить последние экспериментальные результаты, на основе концепции резонансного туннелирования в одномерной системе [18]. Флуктуации кондактанса, формирующиеся резонансными парами состояний, между которыми электрон туннелирует, должны выглядеть в виде высоких узких пиков на кривой зависимости от положения энергии Ферми, причем их ширина порядка ширины резонансных уровней. Однако экспериментальное поведение кондактанса в MOSFETтранзисторах, по-видимому, не соответствует этой картине. Был предложен другой – более успешный – качественный подход, использующий понятие проводимости с переменной длиной прыжка [19].

Эти и другие теоретические исследования [20-21] привели к понимаю того, что исследуемые квантово-интерференционные явления связаны с наличием хаотического примесного потенциала в образце. Мезоскопические свойства неупорядоченной структуры малого размера обусловлены конкретной формой случайного потенциала, который флуктуирует от образца к образцу.

# **3.** Связь флуктуаций кондактанса со спектра энергии и теория хаотических матриц

Согласно (2) относительная величина флуктуаций кондактанса  $\delta G/G$  не зависит от размера образца *L* в двумерном случае и пропорционально *L* в трехмерном. Заметим, что флуктуации проводимости, связанные, например, с флуктуациями примесной концентрации, должны были бы убывать, как  $\delta G \sim L^{-d/2}$  гла *d* размарцост, образия *C* атой тон

 $\frac{\delta G}{G} \approx L^{-d/2}$ , где d – размерность образца. С этой точ-

ки зрения флуктуации, описываемые формулой (2), кажутся аномально большими.

На эти флуктуации можно взглянуть, однако, с другой точки зрения. После работы Таулесса [15] стало понятно, что проводимость образца определяется точными одно-электроными уровнями, лежащими в полосе энергий шириной

$$E_C = \frac{Dh}{L^2} \approx \frac{h}{\tau_D},$$
 (10a)

центрированной на уровне Ферми, где  $\tau_D \approx \frac{L^2}{D}$  - ха-

рактерное время диффузии электрона через весь образец. Легко проверить, что

$$\langle G \rangle \approx \frac{e^2}{h} \langle N(E_c) \rangle,$$
 (11)

где  $\langle N(E) \rangle$  - число уровней в полосе ширины E. Естественно считать, что флуктуации кондактанса обусловлены флуктуациями  $\delta N(E_C) \equiv N(E_C) - \langle N(E_C) \rangle$ числа уровней  $N(E_C)$ 

$$\frac{\delta G}{\langle G \rangle} \approx \frac{\delta N(E_c)}{\langle N(E_c)}.$$
(12)

Используя (11) и (12) легко находим, что

$$\delta N(E_C) \approx 1$$
 (13)

в то время, как естественно было бы считать, что в неупорядоченной системе  $\delta N \sim \sqrt{N}$ . С этой точки зрения флуктуации проводимости (2) представляются аномально слабыми.

Тот факт, что флуктуации числа уровней в данной полосе мала по сравнению с  $\sqrt{N}$ , указывает на отталкивание между этими уровнями. Начиная с работ Вигнера [22], это явление интенсивно изучается в системах, характеризуемых матричным гамильтонианом, элементы которого флуктуируют около нуля одинаково и достаточно сильно. Оно является, например, предметом статистической теории ядерных спектров [22,23]. В работе [23] идеи отталкивания уровней были впервые применены к малым металлическим частицам.

Большинство авторов интересовалось влиянием отталкивания на функцию распределения расстояний между ближайшими уровнями энергии [22,23]. Возникновение отталкивания уровней проще всего понять на примере гамильтониана, представляющего собой матрицу 2x2 с независимыми хаотическими матричными элементами  $H_{ij}$  { $E_n$ }. В этом случае плотность вероятности того, что система имеет уровни  $E_1$  и  $E_2$  равна

$$P_{2}(\varepsilon_{1},\varepsilon_{2}) = \int dH_{11}dH_{22}dH_{12}f(H_{11})fH_{22})f(H_{12}) \times \\ \times \delta(\varepsilon_{1}-\varepsilon_{2}-\sqrt{(H_{11}-H_{22})^{2}+H_{12}^{2}}) \times$$
(14)  
 \times \delta \varepsilon\_{1}+\varepsilon\_{2}-H\_{11}-H\_{22}).

где  $f(H_{ij}) - функция распределения <math>H_{ij}$ , меняющаяся на масштабе  $H_o$ . При вещественных  $H_{12}$  (что соответствует ортогональному ансамблю) и при  $|\varepsilon_i - \varepsilon_j| \ll H_o$  из (14) получаем

$$P_2(\varepsilon_1, \varepsilon_2) \propto \frac{|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|}{H_o^3}.$$
 (15)

Многоуровневая функция распределения была впервые приведена Вигнером [22] для ортогонального ансамбля с гауссовой вероятностью

$$f(H_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{\pi}H_o} \exp(-\frac{H_{ij}^2}{2H_o^2}).$$
 (16)

Она имеет вид

$$P_N \ \varepsilon_i = H_o^{-N(N+1)/2} B_N \prod_{1>j} \left| \varepsilon_i - \varepsilon_j \right| \exp\left(-\frac{1}{2H_o^2} \sum_i \varepsilon_i^2\right).$$
(17)

Происхождение произведения величин  $|\varepsilon_i - \varepsilon_j|$ , описывающего отталкивания между собой парой уровней в системе, можно пояснить следующим образом. Из соображений размерности функция  $P_N{E_i}$  должна содержать полином степени N (N-1)/2. С другой стороны этот полином должен обращаться в нуль как  $|\varepsilon_i - \varepsilon_j|$  при  $\varepsilon_i \rightarrow \varepsilon_j$ , поскольку в этом случае можно рассматривать только пару уровней, описываемую гамильтонианом 2х2. Отсюда следует, что

полином должен иметь вид  $\prod_{j < i} \left| \varepsilon_i - \varepsilon_j \right|$ . Более стро-

гий вывод можно найти в книге [22, с. 260-262].

Теория хаотических матриц хорошо описывает статистические свойства спектра энергетических уровней применительно к неупорядоченным системам. В следующем разделе мы применим модель сильной связи с диагональным беспорядком, относящуюся к ортогональному ансамблю хаотических матриц, для изучения роли отталкивания уровней энергии в условиях перехода металл-диэлектрик.

# 4. ОТТАЛКИВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ И ПЕРЕХОД МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК

Из теории [9,12,14-16], которая находится в согласии с экспериментом, следует, что при нулевой температуре обратное полное сопротивление металлического образца (кондактанс) G отличается от своего среднего значения на величину Go порядка  $e^2/h$  вне зависимости от формы и размеров образца.

Согласно Таулессу, проводимость куба со стороной L при низкой температуре  $T \ll E_c$ , где

$$E_c \equiv \frac{h}{\tau_D} = \frac{hD}{L^2},\tag{18}$$

Определяется одноэлектронными энергетическими уровнями, лежащими в полосе ширины  $E_c$ , центрированной на уровне Ферми в (18) D коэффициент диффузии электронов, а  $\tau_D$  – время диффузии их через весь образец). Средний, по реализациям случайного потенциала кондактанс образца G, измеренный в единицах  $e^2/h \sim 4 \cdot 10^{-5}$  См<sup>-1</sup>, равен просто среднему числу этих уровней:

$$G = \frac{e^2}{h} < N(E_c) > .$$
 (19)

Альтшулер и Шкловский [24] обратили внимание на то, что и флуктуации кондактанса куба от одной реализации к другой в значительной степени определяется соответствующими флуктуациями  $N(E_c)$ – числа уровней в полосе ширины  $E_c$ . В этой связи изучается вопрос о дисперсии

$$< [\delta N(E)]^2 > < [N(E) - < N(E) >]^2 >,$$
 (20)

числа уровней в полосе произвольной ширины E. Угловые скобки означают усреднение по реализациям хаотического потенциала. При этом рассматривался случай, когда  $\langle N(E) \rangle$  мало по сравнению с полным числом уровней в системе. Величина  $\langle [\delta N(E)]^2 \rangle$  в металлическом образце определялась при помощи примесной диаграммной техники в той области, в которой  $L_N l_N \lambda$ , где l и  $\lambda$  – соответственно длина свободного пробега и длина волны электрона.

Ранее Дайсон [25], имея в виду задачу о статистике уровней энергии в сложных ядрах, рассмотрел аналогичную задачу для собственных значений ансамбля хаотических матриц (гамильтонианов), все матричные элементы которых нормально распределены вокруг нуля с одинаковой дисперсией. Для дисперсии  $< [\delta N(E)]^2 >$  в простейшем случае вещественных симметричных матриц (ортогонального ансамбля) Дайсон получил

$$\delta N^2 = \frac{2}{\pi^2} [\ln \langle N(E) \rangle + B] \equiv \langle \delta N^2 \rangle_D.$$
 (21)

(здесь и ниже мы используем обозначение  $<\delta N^2 >$  для величины (20). Константа *В* была вычислена в работе Дайсона и Мехты [26] и оказалась равной *В*≈2.19.

Интересной особенностью формулы (21) является малость флуктуаций  $\langle \delta N^2 \rangle \ll \langle N(E) \rangle$ . Это значит, что последовательность уровней сильно отличается от случайной пуассоновской, у которой должно быть  $\langle \delta N^2 \rangle = \langle N(E) \rangle$ . Дополнительная «жесткость» системы уровней возникает за счет их квантовомеханического отталкивания.

Результаты работы [24] для  $\langle \delta N^2 \rangle$  в металлическом кубе, окруженном диэлектриком и имеющим поэтому неуширенные уровни, при  $E \ll E_c$  согласуется с формулой Дайсона (21) (только величину константы *В* невозможно определить в рамках примесной диаграммной техники). Такое соответствие связано, на наш взгляд, с тем, что за характерное время h/Eдиффундирующий электрон успевает обежать весь образец, так что матричные элементы гамильтониана, связывающие друг с другом различные состояния, лежащие в полосе энергий ширины *E*, оказываются одного порядка.

Если энергетические уровни имеют затухание  $\gamma$ , связанное, например, с возможностью выхода частицы из образца, то, как показано в [24], величина  $\langle N(E) \rangle$  в правой части (21) заменяется на  $E / \gamma$ , а при  $\gamma \sim E$  дисперсия  $\langle \delta N^2 \rangle$  оказывается порядка единицы, то есть еще меньшей, чем  $\langle \delta N^2 \rangle_D$ .

При  $E \gg E_c$  полученная величина  $\langle \delta N^2 \rangle$  независимо от граничных условий оказывается существенно большей дайсоновской  $\langle \delta N^2 \rangle_D$  и зависящей от  $E_c$ :

$$<\delta N^{2}>=rac{\sqrt{2}}{6\pi^{3}}(rac{E}{E_{c}})^{3/2}.$$
 (22)

Причина увеличения масштаба флуктуаций состоит в том, что при  $E \gg E_c$  за характерное время  $\hbar/E$  электрон успевает обежать только малую часть образца, грубо говоря, маленький кубик со стороной  $L_E = (Dh/E)^{1/2}$ . Отдельные маленькие кубики обладают независимыми системами уровней. Это значит, что флуктуации числа уровней в каждом кубике независимы и  $<\delta N^2 >$  пропорционально числу  $(L/L_E)^3$ :

$$<\delta N^2>=<\delta n^2>(\frac{L}{L_E})^3=\frac{\sqrt{2}}{6\pi^3}(\frac{L}{L_E})^3.$$
 (23)

где  $< \delta n^2 >$  - дисперсия числа уровней в кубике размером  $L_E$  в полосе энергий E . Поскольку этот кубик является открытым, то  $\gamma \sim D/L_E^2 = E$  и  $< \delta n^2 > \sim 1$ .

Таким образом, в области хорошей металлической проводимости дисперсия числа уровней в полосе данной ширины существенно зависит от  $E_c$ , то есть от кондактанса образца G. Ясно, что статистика уровней должна, в отличие от среднего числа уровней  $\langle N(E) \rangle$ , быть чувствительной к переходу металл-диэлектрик.



Рисунок 1. Спектр энергии неупорядоченной кубической системы в модели Андерсона как функция степени беспорядка W для линейного размера L=5. Выбрана одна реализация узельных энергий  $\varepsilon_n$ . Точками показана фазовая диаграмма перехода металл-диэлектрик для модели Андерсона (формула (25))

В настоящем разделе качественно была описана зависимость  $<\delta N^2 >$  от  $E_c$  при переходе от хорошего металла через критическую область в диэлектрическое состояние. В следующем разделе обсуждается зависимость дисперсии числа уровней вне критической области перехода металл-диэлектрик, то есть в хорошем металле и глубоком диэлектрике. В разделе 5 приведены качественные соображения о поведении зависимости  $< \delta N^2 >$  от *E* в критической области, основанные на скейлинговой картине перехода металл-диэлектрик. Далее изложены результаты численного моделирования задачи для модели Андерсона в кубике 20x20x20 узлов в широком диапазоне значений разброса уровней. Раздел 6 посвящен детальному количественному сравнению результатов этого численного эксперимента с теоретическими предсказаниями в металлической области.

# 5. СТАТИСТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ВНЕ КРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ

В хорошем металле, когда  $l \gg \lambda$ , при достаточно малых энергиях E величина  $\langle \delta N^2 \rangle$  описывается формулами (21) или (22). Эти зависимости справедливы только до тех пор, пока  $L_E$  больше длины свободного пробега l, то есть пока  $E \ll h/\tau$ , где  $\tau$  – время свободного пробега. При  $E \gg h/\tau$  флуктуации  $\langle \delta N^2 \rangle$  перестают расти с ростом E. По порядку величины они равны

$$\langle \delta N^2 \rangle \approx \left(\frac{L}{e}\right)^3.$$
 (24)

Это происходит потому, что сдвиги уровней под действием хаотического потенциала не превосходят величину  $h/\tau$  и, следовательно, вклад в  $\delta N$  полосы

шириной Е дают только ее приграничные области шириной  $h/\tau$ . График зависимости  $<\delta N^2 > /< N(E) >$ от Е для случая l»  $\lambda$  схематически приведен на рисунке 2 (кривая 2) рядом с графикой зависимости (21) (кривая 1). При уменьшении l и приближении l к  $\lambda$  уменьшается *Ec* и растет  $<\delta N^2 >$  для полос шириной  $E > E_c$ . При  $l \approx \lambda$ , то есть на границе критической области перехода металл-диэлектрик.  $\hbar/\tau$  становится порядка максимального масштаба энергий  $\hbar^2/m\lambda^2 \equiv \mu$ . где µ - уровень Ферми. При этом область действия формулы (24) исчезает, и при  $E/h^2/mL^2$  работает формула (21), а при  $h^2/mL^2 < E < \mu$  - работает формула (22). Такое поведение  $<\delta N^2 >$  показано кривой 3 на рисунке 2. Эту кривую можно назвать границей критической области перехода металл-диэлектрик со стороны металла.

С другой стороны ясно, что в диэлектрической фазе вдали от перехода металл-диэлектрик распределение уровней на оси энергий должно быть абсолютно хаотическим, пуассоновским. Проще всего это понять на хорошо известной модели Андерсона. Гамильтониан этой модели имеет вид

$$H = I\left[\sum_{i} \varepsilon_{i} a_{i}^{\dagger} a_{i} + \sum_{i \neq j} a_{j}^{\dagger} a_{i} + h.c.\right], \qquad (25)$$

где  $a_i^+$  ( $a_i$ ) – операторы рождения (уничтожения) электрона на узле *i* (для определенности простой кубической) решетки, *j* - номера шести ближайших к решетке соседей узла *i* ,  $E_i$  - случайная энергия, равномерно распределенная от -*W*/2 до *W*/2, *I* – интеграл перекрытия ближайших узлов.



формула Дайсона (21), 2 – хороший металл, 3 –граница критической области, 4 – диэлектрик формула (26), 5 – точка перехода (формула (31)), 6 – металл в критической области, 7 – диэлектрик в критической области

#### Рисунок 2. Схематическое изображение зависимостей < $\delta N^2$ >/<N(E)> от среднего числа уровней <N(E)>

Известно, что в модели Андерсона при увеличении W происходит переход металл-диэлектрик при  $W=W_c=16.5$ . Ясно, что при  $W \gg W_c$  перекрытием волновых узлов решетки можно пренебречь и волновые функции локализованы на отдельных узлах. В таком случае распределение уровней энергии практически совпадает с распределением затравочных энергий  $E_i$ , то есть является абсолютно случайным, пуассоновским. При этом

$$\frac{\langle \delta N^2 \rangle}{\langle N(E) \rangle} = 1.$$
(26)

Результат (26) изображен прямой 4 на рисунке 2.

Таким образом, известна зависимость  $\langle \delta N^2 \rangle$  от *E* по обе стороны критической области перехода металл-диэлектрик. Теперь мы перейдем к выяснению того, как происходит переход между ними, то есть к тому, как  $\langle \delta N^2 \rangle$  ведет себя в критической области металл-диэлектрик.

# 6. КАЧЕСТВЕННОЕ РАССМОТРЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ФЛУКТУАЦИЙ ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЙ В КРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрение критической области естественно начать с точки перехода металл-диэлектрик. Согласно скейлинговой теории (теории подобия), в точке перехода при T=0 проводимость и коэффициент диффузии таким образом зависят от пространственного масштаба L, что кондактанс куба любого размера L равен не зависящей от L величине G. Согласно большинству современных данных

$$G_c \approx 0.03 \frac{e^2}{\hbar}.$$
 (27)

Из (27) вытекает, что

$$D(L) = \frac{G_c}{ge^2 L},$$
(28)

где *g* - плотность состояний на уровне Ферми. Соответственно, для куба размера *L* 

$$E_c = \frac{hD(L)}{L^2} \approx \frac{G_c}{e^2 / h} \cdot \frac{1}{gL^3},$$
 (29)

То есть  $E_c \leq \Delta$ , где  $\Delta = (gL^3)^{-1}$  - среднее расстояние между уровнями. Ясно, что в этом случае область применимости формулы Дайсона,  $E < E_c$ , вообще отсутствует. Для всех энергий  $E > \Delta$  в точке перехода выполнено неравенство  $E \gg E_c$ . В этом случае для оценки  $< \delta N^2 >$  можно исходить из формулы (23). Для ее использования нужно найти сначала размер L(E) маленького кубика, который электрон обегает за время  $\hbar/E$ . Для L(E) имеем уравнение

$$\frac{D(L_E)h}{E} = L_E^2.$$
(30)

Подставляя (28) в (30), получим  $L_E^3 = hG_c/Ege^2$  или, согласно (23) и (27)

$$\frac{\langle \delta N^2 \rangle}{\langle N(E) \rangle} = \frac{\sqrt{2}}{6\pi^3} \frac{gEL^3 e^2/h}{G_c \langle N(E) \rangle} = \kappa,$$
(31)

где  $k \approx 0.25$ .

Таким образом, в точке перехода, так же как и в глубоком диэлектрике,  $< \delta N^2 > \propto < N(E) >$ , однако вели-

чина флуктуаций  $<\delta N^2 >$  примерно в 4 раза меньше. Результат (31) изображен на рисунке 2. прямой 5.

На самом деле, мы не знаем точного значения коэффициента k. Дело в том, что соотношение (30) верно только по порядку величины из-за того, что коэффициент диффузии D зависит критическим образом не только от энергии, но и от частоты и волнового вектора. Нам не удалось учесть все эти зависимости в рамках однопараметрического скейлинга без дополнительных предположений. Однако наиболее важный, на наш взгляд, вывод состоит в том, что в критической области отношение  $<\delta N^2 > /<N(E)>$  равно константе, меньше единицы.

Рассмотрим теперь критическую область со стороны металла (то есть область между кривыми 3 и 5 на рисунке 2). Для этого учтем, что в этой области формула (18) применима только для масштабов L, таких, что  $L < \xi$ , где  $\xi$  – корреляционная длина перехода металл-диэлектрик. В модели Андерсона она может быть записана в виде

$$\xi = a \left| \frac{W_c}{W - W_c} \right|^{\nu}, \quad W < W_{c}, \quad (32)$$

где а – постоянная решетки, а v – критический индекс. При *L» ξ* вместо (11) имеем

$$D(L) = \frac{G_c}{ge^2\xi} = D(\xi).$$
(33)

Рассмотрим такие значения  $W_c$ -W, что  $L \gg \xi \gg a$ . Тогда, согласно (33)

$$E_c = E_c(\xi) = \frac{hD(\xi)}{L_2} = \frac{h}{ge^2\xi L^2} >> \Delta,$$
 (34)

и при *Ec* ( $\xi$ )»*E*» $\Delta$  должна выполняться формула Дайсона (21). При *E*»*E*<sub>c</sub>( $\xi$ ) справедлива формула (29) с *L*(*E*) найденным из условия *D*( $\xi$ )*h*/*E*=*L*<sub>E</sub><sup>2</sup>( $\xi$ ), то есть

$$\langle \delta N^2 \rangle \approx \left(\frac{L}{L_E(\xi)}\right)^3 = \left[\frac{E}{E_c(\xi)}\right]^{3/2}.$$
 (35)

Формула (18) имеет смысл лишь при  $L(\xi) \gg \xi$ , то есть  $E\Delta(\xi) \equiv (g \xi^3)^{-1}$ . В обратном предельном случае  $E > \Delta(\xi)$  или  $L_E(\xi) \ll \xi$  поведение  $< \delta N^2 >$  должно быть не отличным от поведения в точке перехода, то есть должна совпадать с (14). Ожидаемый вид зависимости  $< \delta N^2 > /< N(E) >$  в критической области показан кривой 6 на рисунке 2. С увеличением  $\xi$  точки обоих изломов  $(gL^2\xi)^{-1} (g\xi^3)^{-1}$  приближаются к  $\Delta$  и зависимость становится практически неотличимой от (31) (кривая 5) при  $\xi \approx L$ . Наоборот, при уменьшении  $\xi$  до *а* кривая 6 переходит в кривую 3.

Рассмотрим кратко критическую область с диэлектрической стороны перехода. В этом случае при  $E \gg \Delta(\xi)$  важно отталкивание уровней в области пространства с размерами, много меньшими  $\xi$ , и флуктуации  $< \delta N^2 >$ , практически такие же, как и в точке перехода. При  $E \ll \Delta(\xi)$  среднее расстояние между исследуемыми уровнями много больше  $\xi$ , они слабо перекрываются, и близость к переходу никак не ощущается, так что флуктуации  $\langle \delta N^2 \rangle$  должны быть такими же, как в глубоком диэлектрике. Таким образом, функция  $\langle \delta N^2 \rangle / \langle N(E) \rangle$  испытывает однопараметрический переход от I к *k* при  $E \approx \Delta(\xi)$  (см. кривую 7 на рисунке 2). При уменьшении  $\xi$  от *L* до *a* «колено» на этой кривой движется от  $E \approx \Delta$  до E = u.

Цель численного моделирования состояла в том, чтобы проверить представленную на рисунке 2 картину подобия на конкретной модели неупорядоченной системы. Изучалась модель Андерсона (25) в кубе 20x20x20 с периодическими граничными условиями, то есть, иначе говоря, бесконечная простая кубическая решетка, в которой хаотические энергии  $\varepsilon_i$  периодичны с периодом 20 постоянных решетки по каждой координате. В этой задаче уровни дискретны, так что не возникает вопроса, как подсчитывать размытые уровни.

Процедура расчета приведена в работах [27-29] и состояла в следующем. Случайный датчик создавал значения  $\varepsilon_i$  в количестве  $20^3 \times 20^3$  в интервале [-W/2, W/2]. Матрица гамильтониана 8000х8000 диагнолизировалась, и подсчитывалось число уровней, попавших в центрированную вокруг нуля полосу энергий шириной  $E_{o} = (W+12)/4$  и в более узкие полосы с шириной  $E_i = E_o/2^{i/2}$ , где i=1,2,3. Затем каждая из полос делилась на 2<sup>к</sup> полосочек равной ширины  $E_{ik} =$  $E_i/2^k = E_o/2^{k+i/2}$ , k =1,2,3,4. Вычислялось число уровней N в исходных полосах и в каждой полосочке, и производилось усреднение N и  $N^2$  по  $2^{\kappa}$  полосок каждой ширины. Затем все результаты усреднялись по  $\approx$ 200 реализациям энергий  $\varepsilon_i$ , и, наконец, находилось  $<\delta N^2>=< N^2>-< N^2>$ для каждой ширины  $E_{ik}$ . Ширина полосы Ео была так мала, что заметить существенные изменения плотности состояний от полосочки к полосочке, как правила, не удавалось. Поэтому было естественно считать, что все полосочки одной ширины находятся в одинаковых статистических условиях и составляют один статистический ансамбль. Для проверки этот мы следили за тем, имеет ли для  $<\delta N^2$ > какое-либо значение начальная ширина энергетической полосы E<sub>i</sub>. Оказалось, что при W≥6 точки для всех ширин полосочек Е<sub>i</sub> лежат вблизи одной кривой  $< \delta N^2 > / < N(E) >$ . При этом никакой систематической зависимости от і не было обнаружено.

Для проверки программ ввода матрицы (8) в компьютерные программы, диагонализации и сортировки уровней использовался случай W=0, то есть без разброса  $\varepsilon_i$ . Энергии и степени вырождения уровней в кубе 20х20х20 при W=0 легко находятся аналитически в рамках метода сильной связи. Расчет по численному моделированию согласуется с этими аналитическими вычислениями. Представленые результаты прошли апробацию через компьютеры в Университете Гамбург и DESY [30-32].



Рисунок 3. Полученные в компьютерном эксперименте зависимости <δN<sup>2</sup>>/<N(E)> от <N(E)> для размера образца L=20 для различной степени беспорядка W. Сплошная линия соответствует формуле Дайсона (21); верхняя линия 1 – формуле (26)

Полученные зависимости  $<\delta N^2 > /< N(E) >$  при различных W показаны сплошными кривыми на рисунке 3 вместе с оценочной погрешностью в форме размера символа. Здесь же штрихами приведены теоретические кривые. Сплошная нижняя линия это формула Дайсона (21), пригодная для хорошего металла, I – формула (26), справедливая для глубокого диэлектрика. Формула (31) претендует на описание точки перехода металл-диэлектрик. Видно, что грубо говоря, результаты численного расчета согласуется с теорией. Во-первых, в сравнительно хорошем металле (W=12) зависимость  $<\delta N^2 > /< N(E) >$ практически неотличима от формулы Дайсона (21). Во-вторых, с ростом Е отличие от формулы Дайсона возникает прежде всего при больших энергиях, как и должно быть по теории. В дальнейшей работе мы планируем изучить зависимость  $<\delta N^2 >$  от энергии Eпри достаточно малых W и показать, что эта зависимость хорошо согласуется с теорией и определяется только кондактансом образца. В-третьих, в области перехода (W=16.5)  $<\delta N^2 > /< N(E) >$  действительно не слишком далека от 0,25-0.30. В-четвертых, при больших *W* величина  $<\delta N^2 > /< N(E) >$  приближается к единице. Имеется и ряд неожиданных результатов. Во-первых, при W=100 отношение  $<\delta N^2 > /< N(E) >$ при больших *<N(E)>* существенно меньше единицы. Это можно понять, учитывая конечность полного числа уровней  $N_o=20^3$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Ландау, Л. Д. Статистическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц // Серия: «Теоретическая физика» Т.4. / М. : Наука, 1978. 480 с.
- Stone, A. D. Magnetjresistance fluctuations in mesoscopic wires and rings / A. D. Stone // Phys. Rev. Lett. 1985. Vol. 54, № 25. P. 2692-2695.
- 3. Altshuler, B. L. Transport phenomena in mesoscopic systems / B. L. Altshuler // Jap. J. Appl. Phys. 1987. Vol. 26, № 3. P. 1938-1942.
- 4. Landauer, R. Electric resistance of disordered one-dimensional lattices / R. Landauer // Phil. Mag. 1970. Vol. 21. P. 863-867.
- 5. Lee, P. A. Disordered electronic systems / P. A. Lee, T. V. Ramakrishnan // Rev. Mod. Phys. 1985. Vol. 57, № 2. P. 287-337.
- 6. Chmef, H. From transistors to quantum dots / H. Chmef, M. Pfeffer // Electron. Eng. 1988. № 3. P. 178-189.
- Heinrich, H. Physics and technology of submicron structures / H. Heinrich, G. Bauer, F. Kuchar. Berlin : Springer-Verlag, 1998. – 287 p.
- Washburn, S. Aharonov-Bohm effect in normal metal quantum coherence and transport / S. Washburn, R. A. Webb // Adv. Phys. - 1986. – Vol. 35, № 4. – P. 375-422.
- 9. Альтшулер, Б. Л. Эффект Аронова-Бома в неупорядоченных проводниках / Б. Л. Альтшулер, А. Г. Аронов, Б. З. Спивак // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. ЗЗ, № 2. С. 101-103.
- 10. Observation of h/e Aharonov-Bohm oscillations in normal metal rings / R. A. Webb [et al.] // Phys. Rev. Lett. 1985. Vol. 54, № 25. P. 2696-2699.
- 11. Magnetoresistance of small quasi-dimensional normal-metal rings and line / C. P. Umbach [et al.] // Phys. Rev. B. 1984. Vol. 30, № 7. P. 4048-4051.
- 12. Об аномальном сопротивлении в полупроводниках / Б. Л. Альтшулер [и др.] // ЖЭТФ. 1981. Т. 81, № 8. С. 768-782.
- 13. Lee, P. A. Universal conductance fluctuations in metals / P. A. Lee, A. D. Stone // Phys. Rev. Lett. 1985. Vol. 55, № 15. P. 1622-1625.
- 14. Stone, A. D. Periodicity of the Aharonov-Bohm effect in normal-metal rings / A. D. Stone, Y. Imry // Phys. Rev. Lett. 1986. Vol. 56, № 2. – P. 189-192.
- 15. Thouless, D. J. Electrons in disordered systems and the theory of localization / D. J. Thouless // Phys. Rep. C. 1974. Vol. 13, № 3. P. 93-142.
- 16. Fowler, A. B. Conductance of restricted dimensionality accumulation layers / A. B. Fowler, A. Harstein, R. A. Webb // Phys. Rev. Lett. – 1982. – Vol. 48, № 3. – P. 196-199.
- 17. Quantum transport in narrow MOSFET channels / W. J. Skocpol [et al.] // Surf. Science. 1986. Vol. 170, № 1. P. 1-13.
- Universal conductance fluctuations in silicon inversion-layer nanostructure / W. J. Skocpol [et al.] // Phys. Rev. Lett. 1986. Vol. 56, № 26. P. 2865-2868.
- 19. Шкловский, Б. И. Электронные свойства легированных полупроводников / Б. И. Шкловский, А. Л. Эфрос. М. : Наука, 1979. 416 с.
- 20. Альтшулер, Б. Л. Флуктуационные свойства проводников малого размера / Б. Л. Альтшулер, Д. Е. Хмельницкий // Письма в ЖЭТФ. 1985. Т. 42, № 7. С. 291-293.
- 21. Lee, P. A. Universal conductance fluctuations in metals: Effects of finite tempetature, interaction and magnetic field / P. A. Lee, A. D. Stone, H. Fukuyama // Phys. Rev. B. 1987. Vol. 35, № 3. P. 1039-1070.
- 22. Wigner, E. U. Statistical theories of spectra: Fluctuations / E. U. Wigner. New York : Academic Press, 1965. 576 p.
- 23. Горьков, Л. П. Мелкие металлические частицы в электромагнитном поле / Л. П. Горьков, Г.М. Элиашберг // ЖЭТФ. 1965. Т. 48, № 5. С. 1407-1418.
- 24. Альтшулер, Б. Л. Отталкивание энергетических уровней и проводимость малых металлических образцов / Б. Л. Альтшулер, Б. И. Шкловский // ЖЭТФ. 1986. Т. 91, № 7. С. 220-234.
- 25. Дайсон, Ф. Статистическая теория энергетических уровней сложных систем / Под ред. Я. М. Смородинского. М. : ИЛ, 1963. 123 с.
- 26. Dyson, F. J. Statistical theory pf energy levels in complex systems. IV / F. J. Dyson, M. L. Mehta // J. Math Phys. 1965. Vol. 4, № 5. P. 701-712.
- 27. Zharekeshev, I. Kh. <u>Asymptotics of Universal Probability of Neighboring Spacings at the Anderson Transition</u> / I. Kh. Zharekeshev, B. Kramer // Phys. Rev. Lett. 1997. Vol. 79. P. 717-721.
- 28. Zharekeshev, I. Kh. Scaling of level statistics at the disorder-induced metal--insulator transition / I. Kh. Zharekeshev, B. Kramer // Phys. Rev. B. 1995. Vol. 51. P. 17239-17242.
- Zharekeshev, I. Kh. Parametric motion of energy levels in quantum disordered systems / I. Kh. Zharekeshev, B. Kramer // Physica A. - 1999. - Vol. 266. - P.450-455.
- 30. Zharekeshev, I. Kh. Numerical-scaling study of the statistics of energy levels at the Anderson transition / I. Kh. Zharekeshev, B. Kramer // Statistical and Dynamical Aspects of Mesoscopic Physics, Ed. D. Reguera [et al.] Berlin : Springer-Verlag, 2000. Vol. 547. P. 237-251.
- 31. Zharekeshev, I. Kh. <u>Crossover of Level Statistics between Strong and Weak Localization in Two Dimensions</u> / I. Kh. Zharekeshev, M. Batsch, B. Kramer // Europhys. Lett. 1996, Vol. 4, P. 587-591.
- Zharekeshev, I. Kh. Universal Fluctuations in Spectra of Disordered Systems at the Anderson Transition / I. Kh. Zharekeshev, B. Kramer // Japanese. J. Appl. Phys. 1995. Vol. 34. P. 4361-4366.

# МЕТАЛ-ИЗОЛЯТОР АУЫСЫНДАҒЫ РЕТТЕЛМЕГЕН ЖҮЙЕЛЕРДІҢ Электрондық спектірлердегі хаосы және реті

Жарекешев И.Х.

#### Теориялық Физика Институты, Гамбург Университеті, Германия Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Статикалық ретсіздігі бар шектелген жабық жүйедегі энергияның бірэлектронды деңгейлердің хаостық флуктуациялар қарастырылады. Берілген еніндегі энергия интервалындағы кездейсок қоспалы потенциал өзгерген кездегі деңгейлердің санының дисперсиясы қарастырылады. Ұқсастық теориясын қолданып метализолятор ауысуының деңгейлердің санына түсірілетін ықпалының бейнесі дамытылған. Ұсынылған теориясы периодикалық шектілері бар жай қубты торға арналған сандық модельдеу нәтижелерімен салыстырылады.

# CHAOS AND ORDER IN ELECTRON SPECTRA OF DISORDERED SYSTEMS AT THE METAL-INSULATOR TRANSITION

Isa Kh. Zharekeshev

Institute for Theoretical Physics, Universitity of Hamburg, Germany Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

The chaotic fluctuations of the single-electron energy levels are considered in a finite close system with a quenched static disorder. The variance of the number of levels in an energy interval of a given width is studied when changing the random impurity potential. By using the scaling theory a scenario of the influence of the metal-insulator transition on the level number variance is developed. The proposed theory is compared with the results of numerical calculations for a simple cubic lattice with periodic boundary conditions.

# СПИСОК АВТОРОВ

Адылханова М.А., 120, 130 Артемова В.А., 103, 108 Бакланова Ю.Ю., 54 Бахтин Л.В., 130 Бедельбекова К.А., 89 Беляшов А., 149 Бердинова Н.М., 145 Берикханова Г.Е., 161 Брянцева Н.В., 60 Витюк Г.А., 54 Генова С.В., 120 Глущенко В.Н., 103 Гордиенко Д.Д., 5 Гусев М.Н., 25, 43, 49, 75 Дроздов А., 149 Дудко А.С., 70 Дуйсебаев А.Д., 19 Дуйсебаев Б.А., 19 Ефремов М., 149

Жаканбаев Е.А., 31 Жарекешев И.Х., 164 Желтов Д.А., 145 Жолдыбаев Т.К., 19 Захарова О.В., 114 Избасханова А.Т., 34 Кабдрахимова Г.Д., 103, 108 Кабдыракова А.М., 136 Каширский В.В., 11 Кенжин Е.А., 34 Коровина О.Ю., 11 Котов В.М., 54, 70 Кривцов П.Ю., 81 Кудряшев В.А., 108 Кундузбаева А.Е., 136 Ларионова Н.В., 120, 136 Лукашенко С.Н., 11, 60, 93, 136 Магашева Р.Ю., 93 Максимкин О.П., 25, 43, 49, 75

Мережко М.С., 49 Мукушева М., 149 Мустафина Е.В., 60 Озерной А.Н., 89 Осинцев А.Ю., 60 Паницкий А.В., 93 Пестов Е.Ю., 120 Рубан С.В., 25, 49 Рыбин С.В., 25, 75 Садыков Б.М., 19 Севериненко М.А., 103, 108 Силачев И.Ю., 145 Токтогулова Д.А., 43 Уханов С.В., 81 Цай Е.Е., 81 Шайторов В., 149 Шатров А.Н., 11 Эдомская М.А., 145

# ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи предоставляются в виде электронной (на гибком диске или по электронной почте присоединенным (attachment) файлом) в формате MS WORD и печатной копии.

Текст печатается на листах формата A4 (210×297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 20 мм; справа 20 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi). Горизонтальное расположение листов не допускается.

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков. Пожалуйста, для заголовков используйте стили (Заголовок 1, 2...) и не используйте их для обычного текста, таблиц и подрисуночных подписей.

Текст печатается через одинарный междустрочный интервал, между абзацами – один пустой абзац или интервал перед абзацем 12 пунктов.

В левом верхнем углу должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами. Через 3 интервала после названия, печатаются фамилии, имена, отчества авторов и полное наименование, город и страна местонахождения организации, которую они представляют. После этого, отступив 2 пустых абзаца или с интервалом перед абзацем 24 пункта, печатается основной текст.

#### При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:

- Статья должна содержать аннотации на казахском, английском и русском языках (130-150 слов) с указанием названия статьи, фамилии, имени, отчества авторов и полного названия, города и страны местонахождения организации, которую они представляют;
- Ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных [1] скобках по мере упоминания. Список литературы следует привести по ГОСТу 7.1-2003;
- Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере (ширина рисунка 8 или 14 см), либо в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. Особое внимание обратите на надписи на рисунке – они должны быть различимы при уменьшении до указанных выше размеров. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка. Рисунки должны быть представлены отдельно в одном из форматов \*.tif, \*.gif, \*.png, \*.pcx, \*.dxf с разрешениями 600 dpi.
- Математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation или MathType. Химические формулы и мелкие рисунки в тексте должны быть вставлены как объекты Рисунок Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

#### К статье прилагаются следующие документы:

- рецензия высококвалифицированного специалиста (доктора наук) в соответствующей отрасли науки;
- выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати;
- акт экспертизы (экспертное заключение);
- на отдельном листе автор сообщает сведения о себе: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность, кафедра и указывает служебный и домашний телефоны, адрес электронной почты.

Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. В конце статья должна быть подписана автором с указанием домашнего адреса и номеров служебного и домашнего телефонов, адрес электронной почты.

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

## **Ответственный секретарь** д.т.н. М.К. Мукушева тел. (722-51) 2-33-35, E-mail: MUKUSHEVA@NNC.KZ

**Технический редактор** А.Г. Кислухин тел. (722-51) 2-33-33, E-mail: KISLUHIN@NNC.KZ

Адрес редакции: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Тәуелсіздік, 6. http://www.nnc.kz/vestnik

© Редакция сборника «Вестник НЯЦ РК», 2001.

Регистрационное свидетельство №1203-Ж от 15.04.2000г. Выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Тираж 300 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии Национального ядерного центра Республики Казахстан 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Тәуелсіздік, 6.

